UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE USO E PRESERVAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE - MG

WALTER DUARTE COSTA

ORIENTADOR: PROF. DR. ALDO DA CUNHA REBOUÇAS

TESE DE DOUTORAMENTO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS MINERAIS E HIDROGEOLOGIA

SÃO PAULO - 2002

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE USO E PRESERVAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE - MG

WALTER DUARTE COSTA

Orientador: Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças

TESE DE DOUTORAMENTO

T3668

COMISSÃO JULGADORA

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças	
Examinadores:	Prof. Dr. Ari Medeiros Guerra	
	Dr. Everton de Oliveira	
	Prof. Dr. José Geraldo de Melo	
	Prof. Dr. Osmar Sinelli	

SÃO PAULO
2002

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900011134

CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE USO E PRESERVAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE – MG

WALTER DUARTE COSTA

ORIENTADOR: PROF. DR. ALDO DA CUNHA REBOUÇAS

TESE DE DOUTORAMENTO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS MINERAIS E HIDROGEOLOGIA

SÃO PAULO – 2002

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE USO E PRESERVAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE – MG

WALTER DUARTE COSTA

ORIENTADOR: PROF. DR. ALDO DA CUNHA REBOUÇAS

TESE DE DOUTORAMENTO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS MINERAIS E HIDROGEOLOGIA

Dedicatória

A meus pais

Que me legaram a semente da sabedoria

A minha esposa

Que sempre me deu forças com seu grande amor

A meus filhos e netos

Que representam a continuidade do meu saber

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS vi

LISTA DE QUADROS viii

LISTA DE FOTOGRAFIAS x

RESUMO xiii

ABSTRACT xiv

1. INTRODUÇÃO 1

1.1 OBJETIVO DO TRABALHO 1

1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA PESQUISADA 2

1.3. JUSTIFICATIVA PARA O ESTUDO REALIZADO 2

PARTE 1: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

2. ASPECTOS FISIOGRÁFICOS 7

2.1. CLIMA 7

2.1.1. Caracterização 7

2.1.2. Elementos Climáticos 7

2.1.3. Balanço Hídrico 10

2.2. GEOMORFOLOGIA 12

2.2.1. Geomorfologia Regional 12

2.2.2. Geomorfologia Local 15

2.3. HIDROLOGIA 22

2.4. PEDOLOGIA 26

3. GEOLOGIA 28

3.1. GEOLOGIA REGIONAL 28

3.1.1. As grandes unidades litoestratigráficas 28

3.1.2. Síntese da evolução geotectônica 31

3.2. GEOLOGIA LOCAL 34

3.2.1. Litoestratigrafia 35

3.2.2. Tectônica e Estruturas 45

3.2.3. Cobertura Inconsolidada 47

4. HIDROGEOLOGIA 49

4.1. ELEMENTOS UTILIZADOS NA PESQUISA 49

4.1.1. Dados Existentes 49

4.1.2. Elementos obtidos dos estudos realizados 50

4.2. MODELO HIDROGEOLÓGICO 57

4.2.1. O Aqüífero Granular 57

4.2.2. O Aqüífero Fissural 62

4.3. MECANISMO DE FLUXO 64

4.4. CARACTERÍSTICAS DOS AQUÍFEROS 66

4.4.1. Complexo Belo Horizonte 67

4.4.2. Grupo Sabará 71

4.4.3. Grupo Piracicaba 72

4.4.4. Grupo Itabira 72

4.5. BALANÇO HÍDRICO E POSSIBILIDADES DE EXPLOTAÇÃO 74

5. HIDROQUÍMICA 76

5.1. RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ESTUDADAS 76

5.1.1. Análises existentes 76

5.1.2. Análises levantadas na atualização do cadastro no presente estudo 76

5.1.3. Análises realizadas na presente pesquisa 78

5.2. ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DE DADOS 78

5.3. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE BELO HORIZONTE 82

5.3.1. pH e Dureza 82

5.3.2. Condutividade elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos 85

5.3.3. Cloretos e nitratos 86

5.3.4. Elementos traços metálicos e não metálicos 90

5.4. CLASSIFICAÇÕES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE BELO HORIZONTE 90

5.4.1. Classificações quanto a origem 91

5.4.2. Classificações quanto ao uso 93

5.5. ANÁLISE CONCLUSIVA SOBRE A HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE BELO HORIZONTE 104

6. OCUPAÇÃO DO ESPAÇO URBANO 105

6.1. DIVISÃO TERRITORIAL E ADMINISTRATIVA 105

6.2. CARACTERÍSTICAS DA OCUPAÇÃO HUMANA 107

6.3. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO 109

6.3.1. Áreas Residenciais 109

6.3.2. Áreas de Uso Público 112

6.3.3. Áreas Industriais 114

6.3.4. Áreas Verdes 114

6.3.5. Áreas de Lagos e Lagoas 117

6.4. ARRUAMENTO 117

6.5. INFRA-ESTRUTURA BÁSICA 117

6.5.1. Saneamento Básico 117

6.5.2. Energia Elétrica 120

6.5.3. Comunicações 123

PARTE 2: VULNERABILIDADE X CARGAS CONTAMINANTES

7. CONCEITUAÇÃO DO PROBLEMA 125

7.1. NÍVEL DE ABORDAGEM 125

7.2. CONCEITO DE CONTAMINAÇÃO 127

7.3. CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA 128

7.3.1. Vulnerabilidade do Aqüífero 130

7.3.2. Carga Contaminante 136

7.4. MECANISMO DE TRANSPORTE DO CONTAMINANTE 137

7.4.1. Transporte do soluto na zona vadosa 138

7.4.2. Transporte do soluto na zona saturada 140

7.5. O CENÁRIO ESTUDADO 142

7.6 CONDIÇÕES DE CONTORNO DO MODELO 144

8. VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS DE BELO HORIZONTE 147

8.1. INTRODUÇÃO 147

8.2. CRITÉRIO PARA CLASSIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE 149
8.2.1. Critérios Existentes 151
8.2.2. Critério Adotado 153
8.3. INFLUÊNCIAS DOS FATORES INTERVENIENTES NA CLASSIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS DE BELO HORIZONTE 156
8.3.1. Declividade 156
8.3.2. Constituição da zona vadosa 157
8.3.3. Influência da profundidade das águas subterrâneas 158
8.4. MAPA DE VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM BELO HORIZONTE 159
9. CARGAS CONTAMINANTES 165
9.1. CARACTERIZAÇÃO DAS CARGAS CONTAMINANTES 165
9.2. POSTOS DE COMBUSTÍVEIS 169
9.2.1. Problemática de vazamentos de combustíveis 169
9.2.2. Combustíveis comercializados e suas características 171
9.2.3. Mecanismo da contaminação por derivados de petróleo 176
9.2.4. Efeitos tóxicos e impactos ambientais 181
9.2.5. Controle da contaminação por derivados de petróleo em Belo Horizonte 183
9.2.6. Situação atual da contaminação das águas subterrâneas por combustíveis veiculares em Belo Horizonte 186
9.3. INDÚSTRIAS 206
9.3.1. Problemática da contaminação das águas subterrâneas por atividades industriais 206
9.3.2. Histórico sobre o desenvolvimento industrial em Belo Horizonte 208
9.3.3. Controle ambiental da contaminação industrial 211
9.3.4. Conhecimento sobre a poluição industrial em Belo Horizonte 212
9.3.5. Caracterização das indústrias mais poluidoras de Belo Horizonte 225
9.3.6. Relação entre a contaminação industrial e a vulnerabilidade à contaminação dos aqüíferos em Belo Horizonte 238
9.4. DEPÓSITOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS 241
9.4.1. Panorama mundial e nacional da contaminação produzida por resíduos sólidos 241
9.4.2. Coleta e disposição de resíduos sólidos em Belo Horizonte 243
9.4.3. Controle Ambiental 246
9.4.4. Pesquisas realizadas 246
9.5. CEMITÉRIOS 257
9.5.1. O problema de contaminação por cemitério 257
9.5.2. Tipos de cemitérios e o processo de contaminação 258
9.5.3. Controle Ambiental 262
9.5.4. Pesquisa realizada 263
9.5.5. Contaminações constatadas 268
9.5.6. Influências dos cemitérios à luz da vulnerabilidade dos aqüíferos de BH 275
9.6. HOSPITAIS 276
9.6.1. Possibilidades de contaminação hospitalar 276
9.6.2. Controle ambiental em Belo Horizonte 277
9.6.3. Pesquisa realizada 277
9.6.4. Resultados obtidos 280
9.7. SANEAMENTO BÁSICO 283
9.7.1. Riscos de contaminação das águas subterrâneas por deficiências de saneamento básico 283

9.7.2. Situação do saneamento em Belo Horizonte 286
9.7.3. Pesquisa realizada 289
9.7.4. Resultados obtidos 292
9.7.5. Potencialidade de contaminação relacionada com o saneamento básico 297

PARTE 3: ANÁLISE CONCLUSIVA

10. RISCOS DE CONTAMINAÇÃO 299
10.1. CONCEITUAÇÃO 299
10.2. AVALIAÇÃO DE RISCO 302
10.2.1. Nível de investigação preliminar 302
10.2.2. Nível de investigação detalhada 303
10.3. ZONEAMENTO DE RISCOS DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM BELO HORIZONTE 305
11. O PROBLEMA JURÍDICO-INSTITUCIONAL 309
11.1. DIVERSIFICAÇÃO DE ÓRGÃOS AMBIENTAIS 309
11.2. O CONTROLE AMBIENTAL EM BELO HORIZONTE 310
11.2.1. Legislação 310
11.2.2. Licenciamento 314
11.2.3. Fiscalização 315
11.2.4. Controle e Monitoramento 316
11.3. PUNIÇÕES 316
12. SÍNTESE CONCLUSIVA 318
12.1. FISIOGRAFIA 318
12.2. GEOLOGIA 318
12.3. HIDROGEOLOGIA 319
12.4. HIDROQUÍMICA 319
12.5. OCUPAÇÃO DO ESPAÇO URBANO 320
12.6. VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS 320
12.7 CARGAS CONTAMINANTES 321
12.8. RISCO DE CONTAMINAÇÃO 326
12.9. ASPECTOS LIGADOS À LEGISLAÇÃO 326
12.10. CONCLUSÕES FINAIS 327
13. RECOMENDAÇÕES 328
13.1. RECOMENDAÇÕES GERAIS 328
13.2. RECOMENDAÇÕES SOBRE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS 329
13.3. RECOMENDAÇÕES SOBRE INDÚSTRIAS 330
13.4. RECOMENDAÇÕES SOBRE ATERROS SANITÁRIOS 331
13.5. RECOMENDAÇÕES SOBRE CEMITÉRIOS 332
13.6. RECOMENDAÇÕES SOBRE HOSPITAIS 333
13.7. RECOMENDAÇÕES SOBRE SANEAMENTO BÁSICO 333
13.8. RECOMENDAÇÕES PARA MINIMIZAR OS RISCOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA CONTAMINADA 334
13.9. RECOMENDAÇÕES FINAIS 334
14. BIBLIOGRAFIA 336
15. IDENTIFICAÇÃO DO AUTOR 347
16. AGRADECIMENTOS 348

ANEXOS

1.1 Normais Climatológicas de Belo Horizonte
1.2 Planilha de Cálculo para o Balanço Hídrico
2.1 Cadastro de poços tubulares
2.2 Resultados dos ensaios de Condutividade Hidráulica
3.1 Análises Físico-químicas do Complexo Belo Horizonte
3.2 Análises Físico-químicas do Grupo Sabará
3.3 Análises Físico-químicas da Formação Gandarela
3.4 Análises Físico-químicas da Formação Cercadinho
4.1 Relação de postos de combustíveis de Belo Horizonte
4.2 Resultados de análises químicas de BTEX
4.3 Efluentes industriais nas bacias do Arruda e Onça por ramo de atividade
4.4 Carga poluidora das principais indústrias de Belo Horizonte
5.1 Lei Municipal nº 7277/97
5.2 Deliberação Normativa nº 25/99 do COMAM
5.3 Deliberação Normativa nº 32/00 do COMAM

LISTA DE FIGURAS

1.1	-	Localização da área	3
2.1	-	Elementos Climatológicos	8
2.2	-	Balanço Hídrico segundo Thornthwaite	11
2.3	-	Geomorfologia Regional	14
2.4	-	Mapa Hipsométrico de Belo Horizonte	16
2.5	-	Mapa de Declividade	19
2.6	-	Qualidade das Águas Superficiais no Estado de Minas Gerais	25
3.1	-	Geologia Regional	29
3.2	-	Mapa Geológico do Município de Belo Horizonte	36
3.3	-	Fraturas por Litologia	46
4.1	-	Mapa de Locação de Poços Tubulares e de Poços de Monitoramento	52
4.2	-	Poço de monitoramento	55
4.3	-	Ensaio de Rebaixamento – Método de Gilg & Gavard	57
4.4	-	Espessura da cobertura	59
4.5	-	Variação da cobertura com a litologia	60
4.6	-	Mapa Potenciométrico do Município de Belo Horizonte	65
4.7	-	Variação da capacidade específica com a litologia	68
4.8	-	Mapa de capacidade específica	70
5.1	-	Variação de pH	84
5.2	-	Variação de Dureza	84
5.3	-	Distribuição dos Sólidos Totais	87
5.4	-	Distribuição da Condutividade Elétrica	87
5.5	-	Distribuição de Cloretos	89
5.6	-	Distribuição de Nitrato	89
5.7	-	Gráfico Triangular de Piper para classificação iônica das águas subterrâneas do Complexo Belo Horizonte	92
5.8	-	Gráfico Triangular de Piper para classificação iônica das águas subterrâneas do Supergrupo Minas (Formações Cauê, Fecho do Funil, Cercadinho e Gandarela e Grupo Sabará)	92
5.9	-	Gráficos de Stiff para as águas subterrâneas do Complexo Belo Horizonte	94
5.10	-	Gráficos de Stiff para as águas subterrâneas da Formação Sabará	95
5.11	-	Gráficos de Stiff para as águas subterrâneas da Formação Gandarela	95
5.12	-	Gráficos de Stiff para as águas subterrâneas das Formações Cauê e Fecho do Funil	96
5.13	-	Gráficos de Stiff para as águas subterrâneas da Formação Cercadinho	96

5.14 - Potabilidade segundo a Salinidade e a Dureza – Durfor & Becker 98
5.15 - Gráfico de Salinidade do U.S.S.L. para classificação das água subterrâneas do Complexo Belo Horizonte quanto ao uso para irrigação 103
5.16 - Gráfico de Salinidade do U.S.S.L. para classificação das águas subterrâneas do Supergrupo Minas quanto ao uso para irrigação 103
6.1 - Divisão Política e Administrativa de Belo Horizonte 106
6.2 - Uso e Ocupação dos Solos e Rede de Esgotos de Belo Horizonte 110
6.3 - Áreas Verdes de Belo Horizonte 115
7.1 - Esquema conceitual de risco de contaminação da água subterrânea (modificado de Foster, 1987) 129
7.2. - Distribuição da pressão da água no subsolo 139
7.3 - Cenário da contaminação urbana das águas subterrâneas 143
8.1 - Condições de infiltração na zona urbana 150
8.2 - Esquema para avaliação da vulnerabilidade de um aqüífero 155
8.3 - Variação do nível estático 160
8.4 - Mapa de profundidade do NE 161
8.5 - Mapa de Vulnerabilidade à Contaminação das Águas Subterrâneas do município de Belo Horizonte 163
9.1 - Mecanismo da contaminação por combustíveis 177
9.2 - Isoconcentrações de VOC 194
9.3 - Resultados analíticos e mapa potenciométrico 195
9.4 - Distribuição vertical da pluma de contaminação 196
9.5 - Mapa de correlação entre postos de combustíveis e vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas de Belo Horizonte 204
9.6 - Controle de contaminação na indústria Manesman S.A. 232
9.7 - Mapa de correlação entre indústrias e vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas de Belo Horizonte 239
9.8 - Deslizamento de um antigo lixão no Morro das Pedras 248
9.9 - Antigo lixão do Morro das Pedras – Seção longitudinal 251
9.10 - Mapa de correlação entre hospitais, cemitérios, aterros sanitários, e vulnerabilidade à contaminação das água subterrâneas de Belo Horizonte 253
9.11 - Cemitério da Paz 266
9.12 - Cemitério da Saudade 269
9.13 - Controle da contaminação nas margens de rios 293
10.1 - Classificação do risco à contaminação das águas subterrâneas de Belo Horizonte 306
10.2 - Zoneamento de risco à contaminação das águas subterrâneas em Belo Horizonte 308

LISTA DE QUADROS

2.1	-	Distribuição das declividades no município de Belo Horizonte	20
3.1	-	Coluna litoestratigráfica regional	30
4.1	-	Vazões dos poços tubulares por aqüífero	75
5.1	-	Variação nas determinações físico-químicas dos poços existentes	77
5.2	-	Variações nas determinações físico-químicas nos novos poços cadastrados	77
5.3	-	Situação das análises consistidas	81
5.4	-	Variação do pH por litologia	83
5.5	-	Variação da dureza com a litologia	83
5.6	-	Variação da CE e dos STD por litologia	85
5.7	-	Variação de cloretos por litologia	86
5.8	-	Variação de nitrato por litologia	88
5.9	-	Padrões de potabilidade da água para consumo humano	99
5.10	-	Variação na tolerância de salinidade em função da pressão na caldeira	101
6.1	-	Extensão e domicílios das regiões administrativas de Belo Horizonte	107
6.2	-	Densidade demográfica de Belo Horizonte	108
6.3	-	Domicílios por tipo de habitação	112
7.1	-	Níveis de avaliação de risco de contaminação das águas subterrâneas	126
9.1	-	Sumário das principais atividades potencialmente geradoras de carga poluidora	166
9.2	-	Classificação de fontes de contaminação de águas subterrâneas-USCOTA-1984	167
9.3	-	Comparação das solubilidades dos compostos BTEX atuando isoladamente e misturados na gasolina	174
9.4	-	Propriedades dos oxigenados, gasolina e diesel	175
9.5	-	Propriedades de alguns constituintes de combustíveis	175
9.6	-	Valores de concentrações de hidrocarbonetos líquidos residuais na zona vadosa	179
9.7	-	Valores críticos de compostos tóxicos de combustíveis	182
9.8	-	Formulário de caracterização para armazenamento de derivados de petróleo	184
9.9	-	Voláteis de hidrocarbonetos de petróleo na zona vadosa	191
9.10	-	Relação entre os postos de combustíveis e vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas de Belo Horizonte	205
9.11	-	Distritos Industriais	209
9.12	-	Formulário de caracterização de indústrias	214
9.13	-	Número de empregados nas indústrias de Belo Horizonte	219
9.14	-	Distribuição das indústrias por atividade	220
9.15	-	Características das principais indústrias de Belo Horizonte	222

9.16 - Quantitativos totais das indústrias Classe A 224
9.17 - Características das indústrias mais poluentes de Belo Horizonte 226
9.18 - Número de indústrias por área ocupada 227
9.19 - Número de indústrias por água consumida diariamente 228
9.20 - Resultados dos poços de monitoramento na área de resíduos sólidos da Manesman 234
9.21 - Relação entre as indústrias e a vulnerabilidade à contaminação dos aqüíferos 240
9.22 - Destino final do resíduo doméstico 242
9.23 - Análises do chorume do aterro sanitário 256
9.24 - Formulário de caracterização para cemitério 264
9.25 - Análises físico-químicas e bacteriológicas no Cemitério da Paz – Poço de monitoramento CP-1 270
9.26 - Comparação entre as águas subterrâneas de três cemitérios de Belo Horizonte 272
9.27 - Hospitais e clínicas de Belo Horizonte 278
9.28 - Formulário de caracterização de hospitais 281
9.29 - Características das áreas não atendidas por rede de esgotos em Belo Horizonte 286
9.30 - Características das captações em cisternas 292
9.31 - Análises físico-químicas e bacteriológicas das águas subterrâneas marginais ao Rio Arrudas e Ribeirão do Onça 294
9.32 - Risco potencial de contaminação de águas subterrâneas por deficiência de saneamento 297
10.1 - Categorias de freqüências do acidente 304
10.2 - Categorias da severidade das conseqüências 304
10.3 - Matriz qualitativa para classificação dos riscos 305

LISTA DE FOTOGRAFIAS

2.1 - Vista longitudinal da Serra do Curral em sua crista. 17

2.2 - Relevo suavemente ondulado ocupado pela cidade, vendo-se ao fundo a Serra do Curral. 17

2.3 - Rio Arrudas no centro da cidade, observando-se seu total revestimento em concreto, com o fluxo restrito à parte central de sua calha 24

2.4 - Trecho mais superior do Rio Arrudas, ainda sem revestimento e a recepção de esgotos que incluem efluentes industriais 24

3.1 - Gnaisse do Complexo Belo Horizonte com fraturas transversais espaçadas e pouco persistentes. 37

3.2 - Pedreira do Engenho Nogueira já desativada, onde se constata o risco dos moradores em seu entorno. Corresponde ao gnaisse da foto anterior. 37

3.3 - Quartzito Cauê intensamente fraturado, com oxidação proveniente do ferro intercalado nessa rocha. 40

3.4 - Quartzito Cauê mostrando dobra invertida cortada por falha de pequeno rejeito. 40

3.5 - Quartzito Cercadinho mostrando xistosidade bem desenvolvida, formando cristas irregulares pelo efeito da erosão 42

3.6 - Fraturas transversais e angulares no Quartzito Cercadinho. 42

3.7 - Filito do Grupo Sabará mostrando xistosidade pronunciada e fraturas transversais e angulares 44

3.8 - Decomposição do filito Sabará, mostrando oxidação ao longo das fraturas. 44

4.1 - Abertura de poço de monitoramento no Cemitério da Paz utilizando trado mecânico 54

4.2 - Abertura de poço de monitoramento em um antigo lixão, utilizando uma sonda rotativa portátil. 54

4.3 - Execução do teste de condutividade hidráulica em um poço de monitoramento utilizando o método de recuperação ("slug test") 56

4.4 - Teste de condutividade pelo método de rebaixamento em um poço aberto com trado 56

6.1 - Em primeiro plano é visto o Parque das Mangabeira e ao fundo a cidade de Belo Horizonte numa zona em que predominam os grandes edifícios. 111

6.2 - Em primeiro plano uma zona com predomínio de casas residenciais, com dois grandes contrastes ao fundo: predomínio de grandes prédios a esquerda e uma grande favela a direita (Papagaio) 111

6.3 - Distribuição caótica de casas no bairro Jardim dos Comerciários. Apesar do nível razoável das construções, falta infra-estrutura viária, inexistindo qualquer arruamento 113

6.4 - Bairro Engenho Nogueira, com boas casas ao longo de pequenos vales. A rua vista a direita da foto somente é acessada por pedestres. 113

6.5 - Mata da UFMG, uma das poucas áreas de preservação arbórea primitiva desse

município 116

6.6 - Horto existente no bairro Cidade Nova, com inúmera diversidade florística muito bem conservada 116

6.7 - Parque Municipal existente no centro da cidade (Av.Afonso Pena no canto esquerdo da foto) com excelente cobertura vegetal. 116

6.8 - Bairro Tupis na zona periférica da cidade, mostrando os diferentes tipos de arruamento existentes nessas áreas. 118

6.9 - Aspecto do saneamento urbano no bairro Jardim dos Comerciários, com ligações clandestinas da rede de água e com esgotos a céu aberto. 118

6.10 - Saída de uma galeria de esgotos no Ribeirão do Onça no bairro Belmonte. 121

6.11 - Estação de tratamento do Rio Arrudas, que é visto em calha de concreto até esse ponto, passando a correr na sua calha natural a jusante desse local. 121

6.12 - Visão geral do Aterro Sanitário de Belo Horizonte, com extensa área já preenchida e uma área a esquerda da foto a ter seu preenchimento iniciado. 122

6.13 - Aspecto da deposição de lixo no aterro sanitário. 122

9.1 - Coleta de amostra em um poço instalado em um posto de gasolina, mostrando os recipientes para análises físico-químicas e de BTEX. 188

9.2. - Poço amazonas (cisterna) existente no Posto Anchieta, onde foi constatada contaminação no topo do freático por benzeno. 188

9.3 - Distrito Industrial do Jatobá, cercado por bairros residenciais. As indústrias aí instaladas são de pequeno a médio porte. 210

9.4 - Distrito Industrial Olhos d'Água, que ainda está sendo implantado, com indústrias surgindo a cada dia, como nos dois lotes vistos em primeiro plano. 210

9.5 - Um dos 5 poços tubulares existentes na Indústria Manesman 231

9.6 - Um dos 10 poços tubulares existentes na Indústria Têxtil Renascença, acabando de ser instalado. 231

9.7 - Poço tubular existente na Indústria de Bebidas Mate Couro 237

9.8 - Estação de tratamento da Indústria de Bebidas Mate Couro 237

9.9 - Antigas células de deposição e incineração do lixo no sistema Baccari (foto da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte de 1960) 245

9.10 - Lançamento do lixo no antigo lixão do Morro das Pedras, mostrando a presença humana convivendo com a podridão e a falta de higiene (foto da PBH de 1968) 245

9.11 - Área do antigo lixão do Morro das Pedras que é visto ao fundo. Em primeiro plano, a pista de "Cooper" construída na área de lazer implantada nesse local. 249

9.12. - Outra visão do antigo lixão da foto anterior, vendo-se o campo de futebol construído sobre um corte no depósito de lixo 249

9.13 - Geofísica pelo método de GPR executada sobre o antigo lixão das fotos acima. Ao fundo observam-se depósitos recentes de lixo a meia encosta 249

9.14 - Usina de compostagem do lixo instalada no Aterro Sanitário, vendo-se em primeiro plano pilhas do lixo já tratado. 254

9.15 - Saída do chorume do aterro sanitário, que é direcionado "in natura" através de

canais até as cabeceiras da drenagem local. 254

9.16 - Cova aberta no Cemitério Parque da Colina, já preparada para receber um ataúde 259

9.17 - Covas em construção no Cemitério da Paz, faltando apenas a caiação das paredes. 259

9.18 - Sistema de entumuação para os ossos no Cemitério da Saudade 260

9.19 - Túmulos do Cemitério da Saudade que dificultam o contato das águas infiltradas com os corpos e ataúdes enterrados 260

9.20 - Cemitério do Bomfim, observando-se a majestosidade dos mausoléus e a impermeabilização dos acessos, que obstaculam a infiltração das águas pluviais 261

9.21 - Sistema de entumulação no Cemitério do Bomfim, onde os ataúdes são depositados em prateleiras de concreto abaixo do nível do solo. 261

RESUMO

A pesquisa que subsidiou o presente trabalho objetivou caracterizar as condições de uso e preservação das águas subterrâneas no município de Belo Horizonte, a partir do cotejo entre a vulnerabilidade dos aquíferos locais e a presença de cargas potencialmente contaminantes para essas águas. Esse estudo, revelou uma **vulnerabilidade à contaminação média a alta** para a maior parte das águas subterrâneas no município de Belo Horizonte, ocorrendo **extrema vulnerabilidade** em vários locais de sua área mais central.

Entre as cargas contaminantes, assumem maior importância os **postos distribuidores de combustíveis veiculares**, não somente pelo grande número de postos existentes (444), mas também pela elevada percentagem de contaminação constatada nos postos já investigados (65%) e, finalmente, pela toxidade do produto contaminante, reconhecidamente cancerígeno. As **indústrias**, embora em grande número – 1076 potencialmente poluentes – apresentam menor influência como fonte poluidora em função do reduzido número de acidentes constatados (apenas 2), e da menor toxidade dos seus efluentes poluidores, já que predomina a contaminação orgânica na maior parte dessas indústrias. Os **depósitos de resíduos sólidos** são restritos ao aterro sanitário, ocupando uma área de 1,43 km^2, porém situada nas cabeceiras de um dos contribuintes da Lagoa da Pampulha, que recebe todo o chorume desse aterro "in natura" com elevados índices de contaminação bacteriológica e de metais pesados e tóxicos, já que o aterro sanitário recebe indiscriminadamente os resíduos de origem doméstica, hospitalar e industrial. Os **cemitérios** constituem também importante fonte de contaminação, embora restritos a seis (6) áreas isoladas, que em conjunto perfazem menos que 1 km^2. O cemitério mais contaminado – Cemitério da Paz, contribui com elevados índices de metais pesados para as águas subterrâneas, além de variada contaminação bacteriológica. Os **hospitais** não revelaram na presente pesquisa qualquer indício de contaminação para as águas subterrâneas. Finalmente, as **áreas não atendidas por rede de esgotos** contribuem com uma considerável contaminação orgânica para as águas subterrâneas, todavia, essas áreas correspondem apenas a 1% da extensão desse município.

Em função do confronto entre a vulnerabilidade dos aqüíferos locais e as cargas contaminantes, pode-se considerar dominante nesse município o **risco de pequenas a médias proporções** para a contaminação de suas águas subterrâneas.

Palavras-chave: Hidrogeologia – Vulnerabilidade – Contaminação – Riscos

ABSTRACT

The objective of the investigation which led to this work, was to characterize the conditions of the usage and preservation of the ground water in the city of Belo Horizonte, based on the comparison between the vulnerability of the local aquifers to harmful substances, and potentially contaminating discharges. This study revealed a **vulnerability of medium to high** in the majority of the groundwater in the city of Belo Horizonte, the center portion being **extremely vulnerable.**

Among the sources of contaminating discharges, the most important are those containing **gasoline distributors**, due not only to the high number of these stations (444), but to the high number of contaminating substances detected in all stations which were investigated, some of which are known to be cancer causing. Although there are a large number of **industries** (1076 potential polluters), they have only a small amount of recorded accidents (2), and the absence of many toxic materials in their pollution, although they are leaders in organic pollution. The **deposits of solid residues** are restricted to a sanitary dump, occupying an area of 1,43 km^2, unfortunately situated at the base of one of contributories of the Pampulha Lake, which receives all the leachate of this dump in their natural state, which have high number of contaminating bacteria, heavy metals, and toxics. This is due to the fact that the sanitary dump unwillingly receives residues of domestic, industrial and hospital origin. The **cemeteries** are also important contributors to the contamination, although they are limited to only six isolated areas of the city, which together make up less than 1 km^2. The most contaminating cemetery, Cemitério da Paz, contributes high number of heavy metals to the groundwater, not to mention various contaminating bacteria. The **hospitals** did not reveal in this investigation any form of contamination to the groundwater. Finally, the **areas not supplied with a sewage system** contribute a considerable amount of organic contamination to the groundwater, although these areas only correspond to 1% of the limits of the city.

In light of the existing conflict between the vulnerability of local aquifers and contaminating discharges areas, we can conclude that in this city there is a **low to medium risk** of contamination of the groundwater.

Key words: Hydrogeology, Vulnerability, Contamination, Risks

PARTE 1

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

1. INTRODUÇÃO

1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO

A pesquisa que embasou a presente tese foi fundamentada em três objetivos principais:

- caracterizar a atual situação da contaminação das águas subterrâneas em decorrência da presença dos diferentes tipos de cargas contaminantes;
- apresentar subsídios para um planejamento do uso territorial do município de Belo Horizonte, de forma a minimizar os efeitos das fontes de contaminação das águas superficiais e subterrâneas;
- estabelecer diretrizes e prioridades para uma melhor gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Esses objetivos incorporam em seu bojo uma série de intenções, avaliações e recomendações práticas, que podem ser relacionadas com a gestão territorial urbana, dentre as quais podem ser destacadas:

- implantação de um cadastro de fontes potenciais de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos no município de Belo Horizonte;
- avaliação e mapeamento da vulnerabilidade à contaminação dos aqüíferos locais;
- definição das áreas de risco potencial de contaminação das águas subterrâneas;
- caracterização dos efeitos nocivos de cada contaminante em relação à qualidade do solo e da água e à saúde da população;
- atualização dos padrões de qualidade atualmente adotados para os diferentes agentes poluidores na área urbana;
- definição de responsabilidades entre os diversos órgãos públicos encarregados de controlar as fontes contaminantes da água subterrânea;
- definição de critérios de monitoramento para o controle dos agentes contaminantes.

1.2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA PESQUISADA

A área da pesquisa presentemente enfocada refere-se ao município de Belo Horizonte, correspondente à ocupação urbana da cidade homônima.

Essa área está reproduzida na figura 1.1, onde pode ser observada a sua posição não somente em relação ao Estado de Minas Gerais, do qual essa cidade é a capital, mas também em relação ao país.

Trata-se, pois, de uma área situada na região sudeste do Brasil, distando em linha reta para o litoral brasileiro, 340 km na direção sul e 390 km na direção leste.

O município possui uma área de 335,5 km^2, dispondo-se em forma alongada segundo a direção NS, onde atinge a extensão de 31,23 km, contra 16,6 km de largura máxima na direção EW. É cortado pelo Rio Arrudas e pelo Ribeirão do Onça, afluentes do Rio das Velhas, um dos principais formadores do Rio São Francisco.

A cidade de Belo Horizonte dista, através de rodovias federais, 524 km para a cidade de Vitória (BR-262), 716 km para a cidade de Brasília (BR-040), 586 km para a cidade de São Paulo (BR-381) e 434 km para a cidade do Rio de Janeiro (BR-040).

O município estudado é delimitado geograficamente pelas seguintes coordenadas geográficas no sistema UTM: 7.781.650 a 7.812.880 de latitude e 598.040 a 619.600 de longitude.

1.3. JUSTIFICATIVA

- Neste final de século, a água tem se tornado o centro das mais controvertidas ilações no que diz respeito a sua utilização e importância para a própria sobrevivência da humanidade.
- Durante séculos, o homem utilizou-se dela com a mais absoluta prodigalidade, como se fosse um bem inesgotável e somente agora se dá conta de que o aumento mundial da população e a poluição decorrente desse incremento têm levado à exaustão ou à impropriedade de uso grande parte dos mananciais hídricos superficiais, comprometendo seriamente não apenas o desenvolvimento mas, ainda, todas as atividades humanas para as quais esse precioso líquido constitui elemento imprescindível.

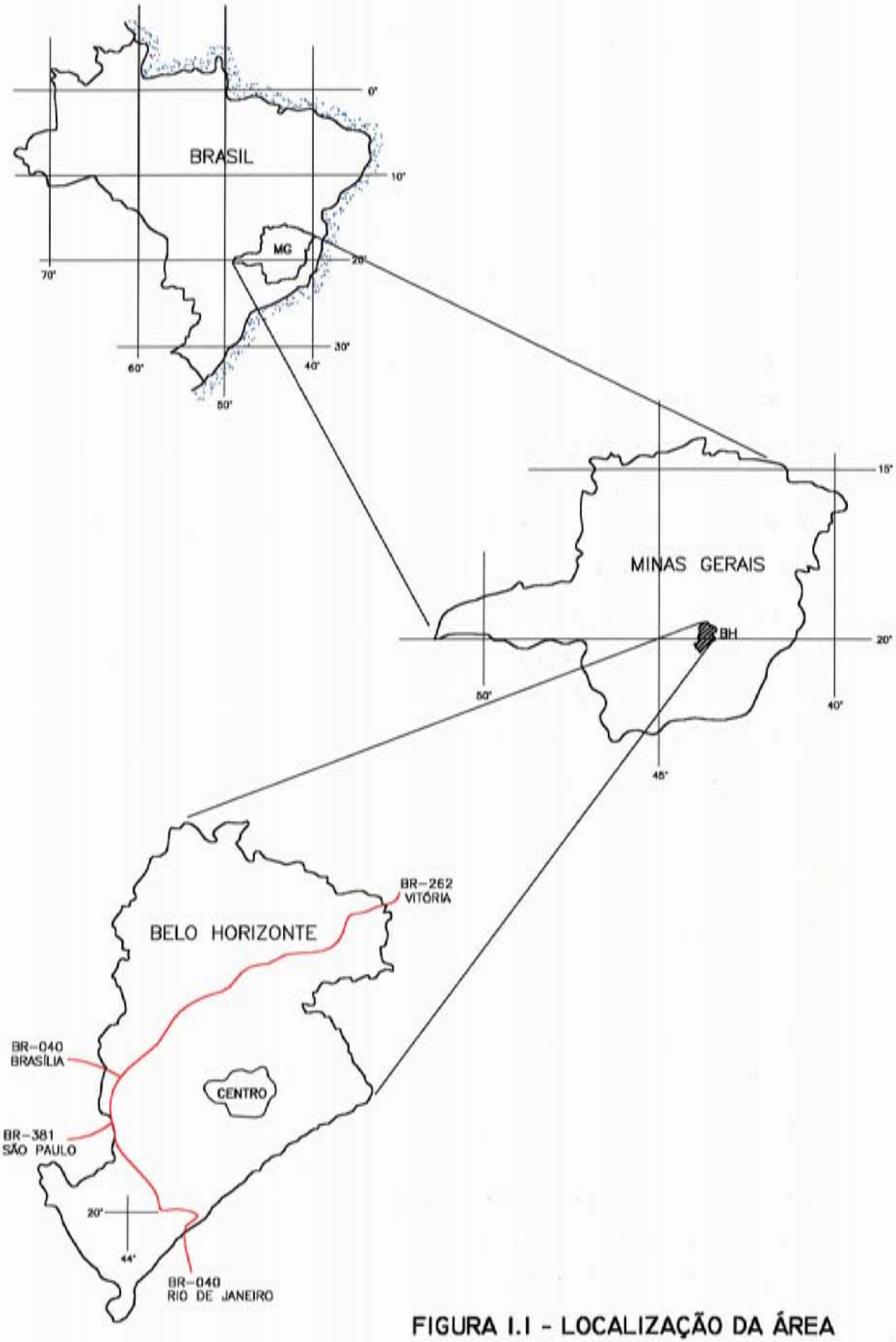


FIGURA I.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

Em conseqüência, são desastrosas as previsões exaradas no meio técnico-científico sobre o futuro da humanidade, chegando a serem apocalípticas segundo aqueles mais exagerados. A asserção mais utilizada nesse final de milênio é relativa à "crise da água" que representaria a principal causa de conflitos e guerras entre nações no início do próximo século, a exemplo do que já ocorre nas disputas para utilização do rio Tejo, entre Espanha e Portugal, do rio Golã entre Síria e Israel, do rio Eufrates entre Síria, Turquia e Iraque, do rio Mekong entre a Tailândia e o Laos e do rio Ebre entre Barcelona e Alicante (Albuquerque & Oliveira, 1999).

O problema torna-se mais grave na medida em que o incremento da escassez hídrica se soma à deterioração dos cursos d'água, em conseqüência da poluição desmedida presente nas áreas urbanas e rurais.

Nessas condições, a ausência de saneamento básico constitui a mais séria ameaça à integridade física do homem moderno, atingindo principalmente as classes menos favorecidas. O desgaste contínuo do organismo humano, por ingerir águas poluídas bacteriologicamente, é o grande causador do subdesenvolvimento, especialmente das populações pobres. A incidência de doenças como verminoses, parasitoses, infecções intestinais, micoses, tifo, cólera e hepatite está diretamente ligada à poluição hídrica.

A agricultura irrigada com freqüente utilização de pesticidas e fertilizantes, a mineração e a indústria são responsáveis pelo lançamento de efluentes tóxicos de incalculável perigo para a saúde humana, incluindo os efeitos carcinogênicos, mutagênicos e teratogênicos. O fato mais grave nesse tipo de contaminação reside na ação cumulativa da maior parte desses produtos, resultando no aparecimento de doenças graves, perda da qualidade de vida e subdesenvolvimento físico e mental muito tempo depois da ingestão parcelada de pequenas doses.

Diante de tão turbulento cenário, a água subterrânea vem assumindo uma importância relevante como fonte de abastecimento doméstico e industrial em todo o mundo.

O incremento de utilização da água subterrânea em nível mundial tem ocorrido não apenas em função das precariedades quantitativas e qualitativas de muitos mananciais superficiais, mas, sobretudo, por despontar tal alternativa como um fator competitivo de mercado no que se relaciona ao abastecimento hídrico.

Essa elevada competitividade deve-se a fatores intrínsecos às condições de armazenamento e captação dos mananciais subterrâneos. Além da relativa abundância registrada em várias partes de nosso planeta, os depósitos subterrâneos dispensam onerosas estruturas de captação e de tratamento, que são próprias das captações superficiais. Por outro lado, a zona insaturada que

recobre os aqüíferos protege as águas subterrâneas através de processos físicos, químicos e biológicos que eliminam ou retardam o fluxo de eventuais contaminantes infiltrados, funcionando como autodepuradora desses contaminantes.

Em nível brasileiro, as condições de abastecimento e saneamento básico assumem características próprias em função das suas condicionantes naturais, nível de cultura e desenvolvimento e deficiências político-administrativas.

A utilização dos recursos hídricos superficiais nesse país poderia ser tranqüila em termos de abastecimento não fossem dois fatores adversos próprios do nível cultual de seu povo: desperdício e poluição.

O desperdício, representado principalmente pelo excesso de água para irrigação e pelo mau uso da água na zona urbana, representa um prejuízo incalculável para a gestão das águas superficiais.

A poluição dos cursos d'água superficiais tem atingido níveis impressionantes, mormente nas maiores cidades do Brasil, onde seus rios e canais foram transformados em autênticas cloacas a céu aberto, funcionando como receptores de esgotos sanitários sem qualquer tratamento e resíduos sólidos de elevada toxidez provenientes de indústrias e hospitais.

Também as zonas rurais, marcadas antigamente por límpidos mananciais hídricos, há tempos começaram a presenciar a acelerada degradação e até extinção de significativos cursos d'água, em função das atividades agropecuárias, minerárias e domésticas.

A utilização da água subterrânea poderia ser uma solução segura e viável dentro dos padrões de competitividade já referidos em nível mundial e que são plenamente válidos para a realidade brasileira, caso houvesse uma explotação desses recursos em nível compatível com suas disponibilidades.

Tal fato não ocorre nem mesmo no nordeste, onde as deficiências são notórias em termos de recursos hídricos superficiais. Nessa região, a média de consumo da água subterrânea corresponde apenas a 3,1% de todo o consumo de água e apenas a 0,7% da disponibilidade potencial de seus aqüíferos (Costa & Costa, 1997).

Em se tratando de Brasil, as reservas utilizáveis em condições hidrológicas equilibradas são de 5.000 m^3/hab/ano, suficiente para abastecer mais de 80% de nossas cidades (Rebouças, 2000). Esse potencial corresponde a 5 vezes o potencial recomendado para os padrões médios mundiais de múltiplo consumo, que é de 1.736 l/hab/dia, segundo Falkenmark & Widstrand (1992).

As flagrantes deficiências na utilização de nossos mananciais podem ser refletidas nos desastrosos índices revelados pelo Censo 2000 (IBGE, 2001), com relação à atual situação do saneamento básico no Brasil. Observa-se nessa pesquisa, que 11,2% dos domicílios na zona urbana não contam com abastecimento d'água por rede pública, chegando esse percentual a 37,5% em algumas regiões, como no norte do país. Em termos de esgotamento sanitário, a situação é ainda pior, pois apenas 72% dos domicílios situados na zona urbana possuem rede geral de esgoto, chegando a 45,9% esse percentual na região centro-oeste.

Todos esses números e fatos refletem a falta de gestão integrada dos nossos mananciais hídricos, incompatível com o crescimento da demanda conseqüente do incremento da agropecuária e da produção industrial experimentados pelo Brasil, sobretudo na segunda metade desse século.

Gerenciar os recursos hídricos não significa proibir o seu uso, e sim, dispor de instrumentos para minimizar eventuais conflitos e assegurar aos seus usuários uma postura ética capaz de atender aos mais rígidos padrões de eficiência, equidade e proteção ao ecossistema.

O planejamento e gestão da água devem levar em conta a solidariedade e o consenso em razão da distribuição desigual dos mananciais hídricos, garantindo o desenvolvimento sustentável e o respeito às questões ambientais como forma de garantir uma melhor qualidade de vida para o terceiro milênio.

Sobretudo, não deve ser esquecido o Art. 5° da Declaração Universal dos Direitos da Água: *A água não é somente uma herança dos nossos predecessores; ela é sobretudo um empréstimo aos nossos sucessores. Sua proteção constitui uma necessidade vital, assim como uma obrigação moral do homem para com as gerações presentes e futuras.*

Reduzindo o desperdício, recuperando a qualidade dos mananciais hídricos, racionalizando o consumo, avançando com a tecnologia racional da exploração hídrica e, sobretudo, evitando a continuidade dos processos de contaminação, é possível promover o crescimento minimizando o espectro da crise dos conflitos.

Para atingir todos esses objetivos, torna-se necessário, primeiramente, diagnosticar a atual situação desses mananciais, e tal tarefa é de suma relevância em um país onde o desconhecimento das reais potencialidades qualitativas é muito grande quando se trata de mananciais hídricos superficiais e incomensurável quando tais recursos são subterrâneos.

Considera-se assim, *plenamente justificado o diagnóstico da qualidade das águas subterrâneas do município de Belo Horizonte como tema central da presente tese.*

2. ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

2.1. CLIMA

2.1.1. Caracterização

O clima da cidade de Belo Horizonte pode ser caracterizado com bastante confiabilidade, uma vez que existe na cidade uma estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

Os principais elementos climáticos para essa região foram obtidos no 5° Distrito desse órgão para o período compreendido entre 1960 e 1990, conforme tabela apresentada no Anexo 1, por ser tal período considerado pelo INMET como o mais representativo das variações climáticas ocorridas nos últimos 50 anos.

Esses elementos podem ser visualizados na figura 2.1 e a sua análise ensejou a elaboração pelo autor do balanço hídrico segundo Thornthwaite, comentado nos próximos itens.

Segundo tais elementos, o clima dessa região pode ser classificado como **Cwa**, segundo Köppen, ou seja, clima tropical úmido caracterizado por um verão quente e chuvoso.

2.1.2. Elementos Climáticos

a) Pluviometria

A pluviosidade foi medida através de pluviômetro, acusando no período considerado, uma média anual de 1.491,3 mm, com 56,5% concentrado no trimestre novembro/janeiro e 88,4% distribuído no semestre outubro/março. O trimestre mais seco é junho/agosto, com um total de 43,5 mm (2,9% do total anual) e uma média mensal de 14,5 mm.

b) Temperatura

A temperatura média compensada foi calculada pela seguinte equação:

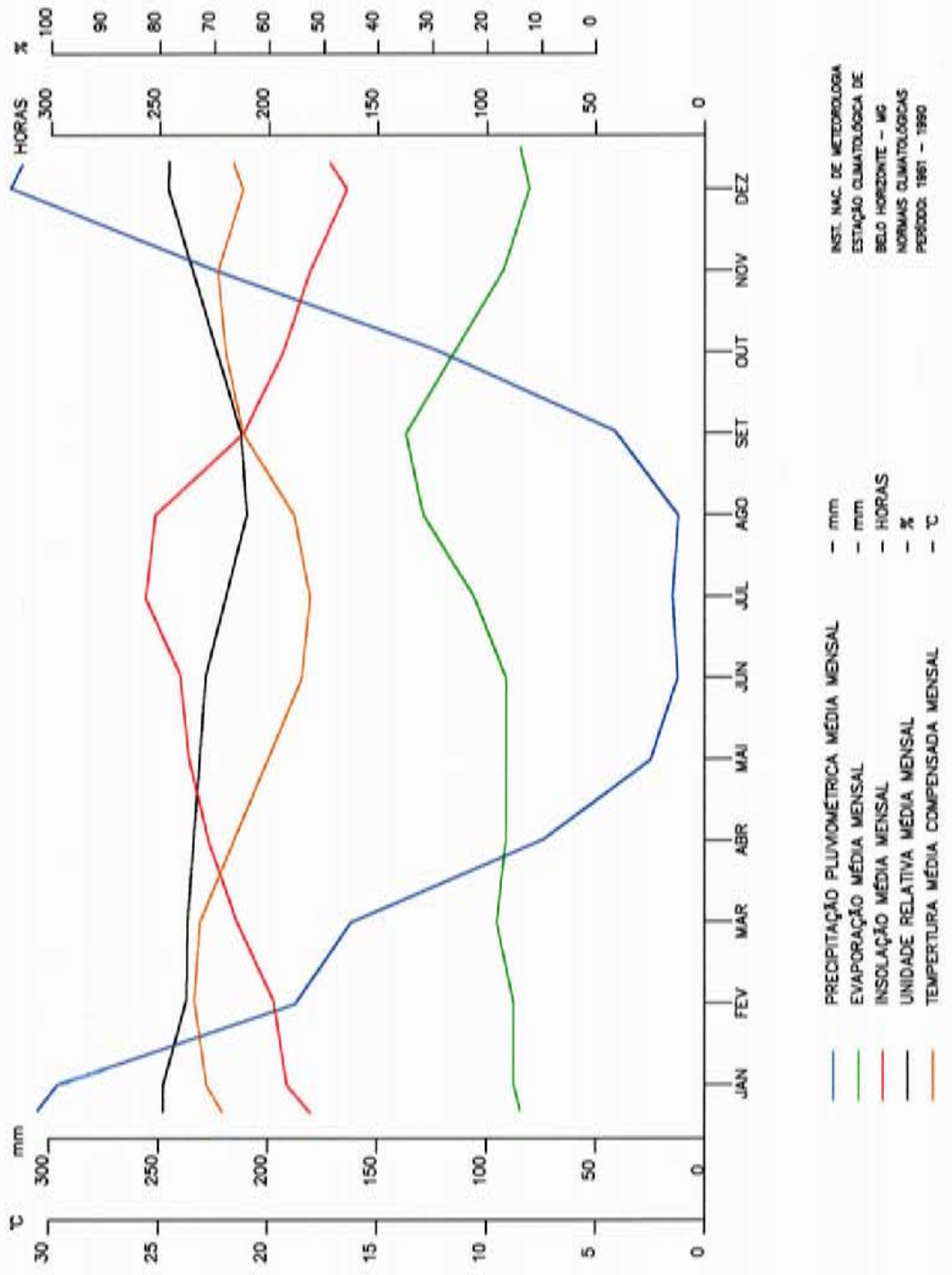


FIGURA 2.1
ELEMENTOS CLIMATOLÓGICOS

$$T_{MC} = \frac{T_{ar}\ 12UTC + 2xT_{ar}\ 24\ UTC + T_{max}\ média + T_{min}\ média}{5}$$

Essa temperatura varia ao longo do ano entre a média mínima de 18,1°C no mês de julho e a média máxima de 23,2°C no mês de fevereiro.

O trimestre mais quente é janeiro/março, com temperatura média de 23°C, enquanto o mais frio é junho/agosto, com temperatura media de 18,5°C.

c) Insolação

A insolação verificada nessa estação meteorológica, medida através do Heliógrafo, é bastante acentuada, acusando um total de 2.566 horas por ano. Sua variação mensal também é significante, variando de 165,1 horas em dezembro (5,5 horas por dia) a 256,5 horas em julho (8,55 h/dia). Sua variação oposta à da temperatura, como observado na figura 2.1 parece, em princípio, incoerente, todavia, a insolação é maior quando a nebulosidade é menor, o que ocorre no período de inverno onde a temperatura é mais baixa.

d) Evaporação

A evaporação real, medida pelo método de Piché, também não depende da temperatura, mas apenas da incidência solar, daí porque é maior nos meses mais secos, embora mais frios. O trimestre de maior evaporação é agosto/outubro, com média de 127,5 mm, atingindo o máximo em setembro, com 137,2 mm. No período dezembro/junho a variação da evaporação é muito reduzida, oscilando entre 84,1 mm em dezembro e 95,3 mm em março.

e) Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar, medida por psicômetro, varia inversamente com a evaporação, porém essa variação é pouco significativa ao longo do ano. A menor umidade ocorre no mês de agosto, com 64,5% e a maior no mês de janeiro, com 79%, sendo a média anual de 72%.

2.1.3. Balanço Hídrico

Analisando a figura 2.2, onde se acha consubstanciado o balanço hídrico elaborado pelo método de Thornhwaite, constata-se que a evapotranspiração potencial ultrapassa a taxa pluviométrica no início do mês de abril, sendo, a partir de então, realizada a evapotranspiração real com auxílio da reserva hídrica do trecho mais superior do solo.

A partir do final do mês de junho até mesmo essa umidade do solo deixa de existir e a parcela infiltrada das águas pluviais é insuficiente para atender às necessidades da evapotranspiração de grande parte da vegetação existente, quando a evapotranspiração real se torna inferior à evapotranspiração potencial. Evidentemente, as árvores de maior porte, principalmente as que possuem raízes pivotantes, conseguem sempre utilizar a umidade dos trechos mais profundos do solo. Nesse período, que se estende até o final do mês de setembro, é praticamente nula a realimentação dos aqüíferos, a não ser em locais totalmente desprovidos de vegetação na superfície.

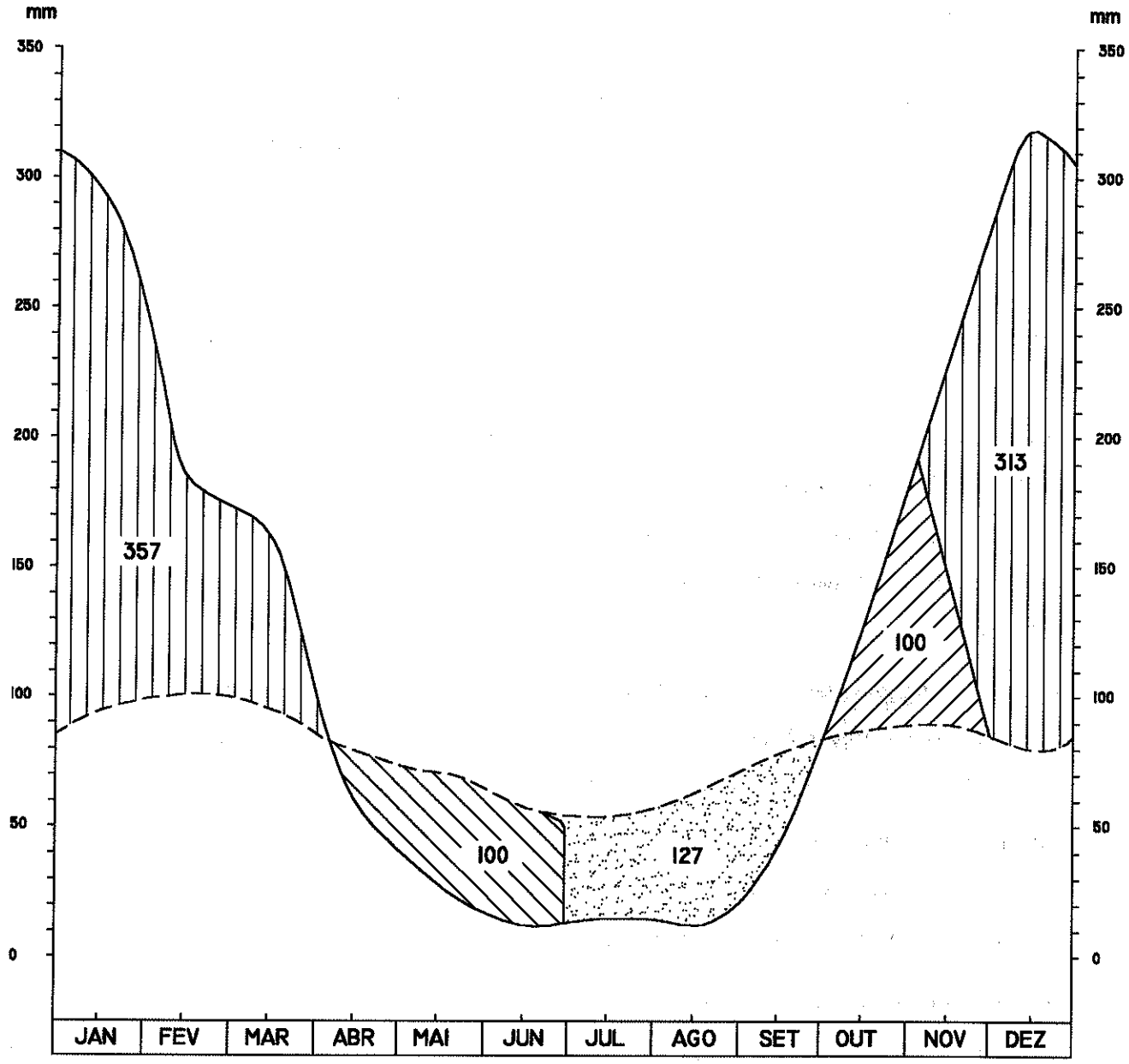
Embora nesse período seja bastante reduzida a percolação na zona insaturada, é mínimo o descenço do nível freático, cujo gradiente garante a manutenção da descarga de base responsável pela perenidade dos cursos d'água superficiais.

No mês de outubro a pluviometria volta a ultrapassar a evapotranspiração potencial, porém essa diferença tem inicialmente o objetivo de restituir a umidade perdida do trecho mais superior do solo, o que ocorre até meados do mês de novembro.

Somente a partir do mês de novembro se inicia um período que se estende até o início do mês de abril, onde a diferença entre a pluviometria e a evapotranspiração potencial irá constituir um excesso de água no balanço hídrico.

É desse excesso que provém a principal fonte de realimentação dos aqüíferos, que varia muito em função das condições de infiltração propiciadas na área urbana, onde a declividade e a obstaculação imposta pelas construções e pavimentação das ruas constituirão os principais fatores intervenientes nesse processo.

Como é difícil quantificar esses parâmetros, principalmente aqueles relacionados com a forma de ocupação do solo, pode-se, para efeito de balanço hídrico, estimar uma taxa de infiltração média em função das especificidades da área urbana e do relevo dessa região.



EXCESSO

RETIRADA DO SOLO

REPOSIÇÃO DO SOLO

DEFICIÊNCIA

PRECIPITAÇÃO

EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL

TOTAIS: (mm)

P	=	1491
ETP	=	948
ETR	=	821
DEF	=	127
EXC	=	670

VER ANEXO I.2

FONTE DOS DADOS UTILIZADOS:

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA DE BELO HORIZONTE-MG
NORMAIS CLIMATOLÓGICAS-PERÍODO: 1961-1990

FIGURA 2.2

BALANÇO HÍDRICO SEGUNDO THORNTHWAITE

Considerando a inexistência de dados sobre a infiltração das águas pluviais nessa região, bem como de qualquer medição de descarga de seus rios que permita estimar o volume infiltrado a partir da caracterização da descarga de base, será admitido para taxa de infiltração um índice conservador de 5%, incidente sobre o excesso de água caracterizado no balanço hídrico.

Nessas condições, têm-se os seguintes elementos para fechar o balanço hídrico dessa área:

Excedente: 670 mm

Infiltração: 33,5 mm

Balanço: $P = EV + ES + I$

Sendo: P = pluviometria média anual em mm

EV = evapotranspiração real média anual em mm

ES = escoamento superficial médio anual em mm

I = infiltração média anual em mm

$1.491 = 821 + 636,5 + 33,5$

Considerando as condições de infiltração homogêneas em todo o município, apenas para visualizar o volume médio que pode realimentar anualmente os aqüíferos locais, têm-se os seguintes números:

Área do município:	335.500.000,000 m^2
Infiltração média anual:	0,0335 m
Volume médio infiltrado anualmente:	11.239.250,000 m^3

No capítulo 4 será analisada a importância desse dado para a hidrogeologia local.

As influências que os elementos climáticos, principalmente revelados pelo balanço hídrico, podem exercer na análise da contaminação das águas subterrâneas serão discutidas no capítulo 8.

2.2. GEOMORFOLOGIA

2.2.1. Geomorfologia Regional

A análise da geomorfologia regional tem como objetivo situar a área pesquisada em um contexto mais amplo com relação às formas de relevo e suas relações com a gênese dessa morfologia.

Visa, ainda, oferecer uma visão mais abrangente entre a morfologia, a drenagem e as suas influências na alimentação dos aquíferos da região estudada.

No contexto da geomorfologia regional, o município de Belo Horizonte inclui duas unidades distintas em gênese e características: Depressão Sanfranciscana e Quadrilátero Ferrífero.

Como pode ser observada na figura 2.3, a maior parte do município acha-se encravada na ***Depressão Sanfranciscana***, que praticamente se inicia nessa região e se prolonga na direção norte no entorno da drenagem da bacia do rio São Francisco, através do Rio das Velhas, um dos principais formadores dessa bacia.

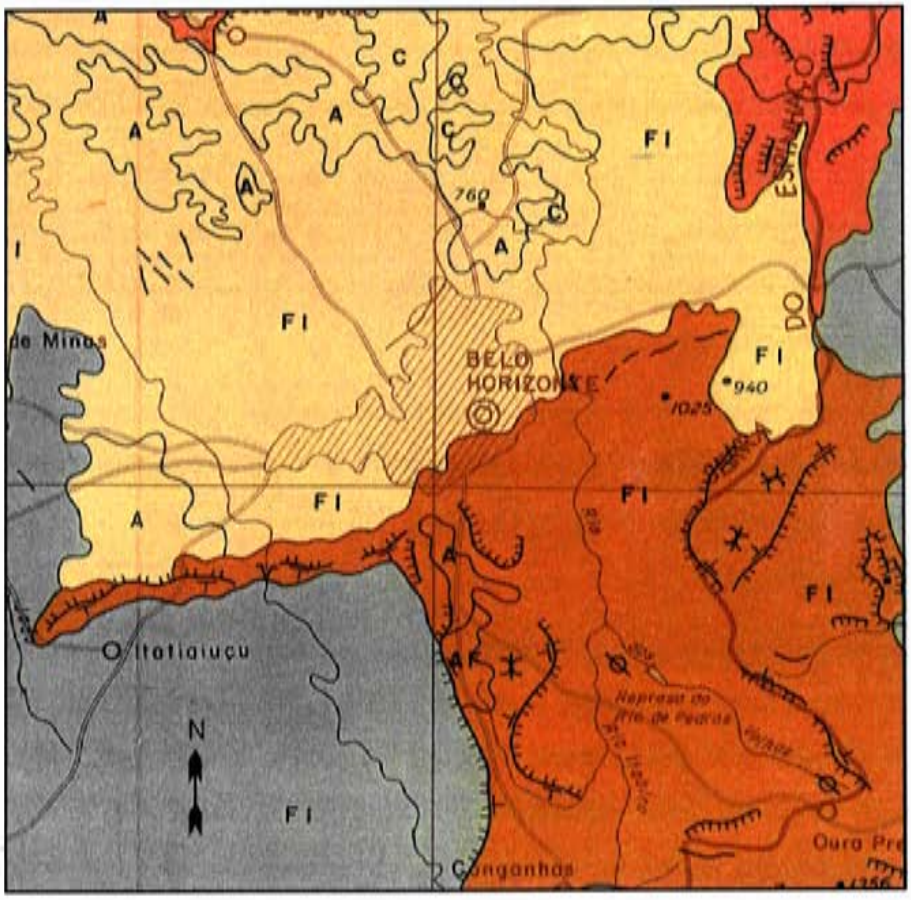
Essa unidade tem sua gênese ligada predominantemente a processos erosivos de origem climática, onde o entalhamento linear é característico de uma morfogênese úmida, facilitado pelo predomínio do intemperismo bioquímico que propiciou a formação de solos residuais pouco resistentes à erosão.

Evidentemente, houve uma grande participação da geologia nessa morfogênese, pois diferentes rochas manifestam uma resistência à decomposição diferenciada, resultando em solos com espessura e resistência à erosão muito distintas. Também as estruturas geológicas impuseram sua influência nesse processo erosivo, através do condicionamento dos vales e cristas a tais estruturas. Finalmente, podem ser observadas ao norte do município de Belo Horizonte algumas formas cársticas de relevo associado à litologia carbonática aí presente e relacionada ao Grupo Bambuí.

Além das formas de dissecação linear que predominam nessa unidade geomorfológica, podem ser visualizadas no mapa da figura 2.3 algumas áreas que atingiram um estágio de aplainamento em processos típicos de clima semi-árido, com o domínio da morfogênese mecânica.

Essa unidade geomorfológica inclui dois ciclos de denudação segundo a classificação geomorfológica de Lester King (1956) e que correspondem às *Superfícies Sul Americana* e *Velhas*. A primeira está relacionada com as cristas mais elevadas esculpidas no Terciário inferior e situadas entre as cotas de 700 m e 900 m, como aparece na figura 2.3 e que inclui todo o município de Belo Horizonte. A Superfície Velhas está relacionada com os remanescentes de erosão situados entre as cotas 500 e 700 m, modeladas no Terciário superior e está presente na bacia do São Francisco a norte da figura 2.3, estendendo-se até o Estado da Bahia.

A unidade geomorfológica do ***Quadrilátero Ferrífero*** somente aparece nos limites S/SE do município de Belo Horizonte, estendendo-se no sentido SE através de uma área com 90 km de comprimento por 60 km de largura, ocupando uma extensão total em torno de 5.000 km^2.



LEGENDA

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

- DEPRESSÃO SANFRANCISCANA
- QUADRILÁTERO FERRÍFERO
- PLANALTOS DISSECADOS DO CENTRO-SUL E DO LESTE DE MINAS

ESCALA
0 30 km

FORMAS DE RELEVO

- ESCARPA EROSIVA
- ESCARPA DE LINHA DE FALHA
- HOGBACK
- FRONT DE CUESTA
- LINHA DE CRISTA

F1	FORMA FLUVIAL DE DISSECAÇÃO
A	FORMA DE APLAINAMENTO
AF	APLAINAMENTO E DISSECAÇÃO
C	FORMAS CÁRSTICAS

FONTE: DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE
CETEC - 1990

FIGURA 2.3
GEOMORFOLOGIA REGIONAL

O condicionamento estrutural do relevo é marcante nessa unidade, determinando a existência de formas estruturais do tipo "hogback" além de escarpamentos erosivos muitas vezes associados a falhamentos.

Por outro lado, a resistência à erosão e à decomposição de algumas litologias como o quartzito e o itabirito deixam realçada na morfologia regional uma série de cristas em elevadas altitudes, entre as quais se destacam a Serra do Curral e a Serra da Moeda.

As cotas nessa unidade geomorfológica variam entre 1.000 e 1.500 m, o que leva a enquadrá-la nos ciclos de denudação relacionados com as Superfícies *Gondwana* e *Pós-Gondwana* de Lester King. A primeira, esculpida no Cretáceo inferior, tem seus picos remanescentes situados nas cotas acima de 1.300 m, enquanto a segunda, relacionada ao Cretáceo superior, possui cotas máximas entre 1.000 e 1.300 m.

2.2.2. Geomorfologia Local

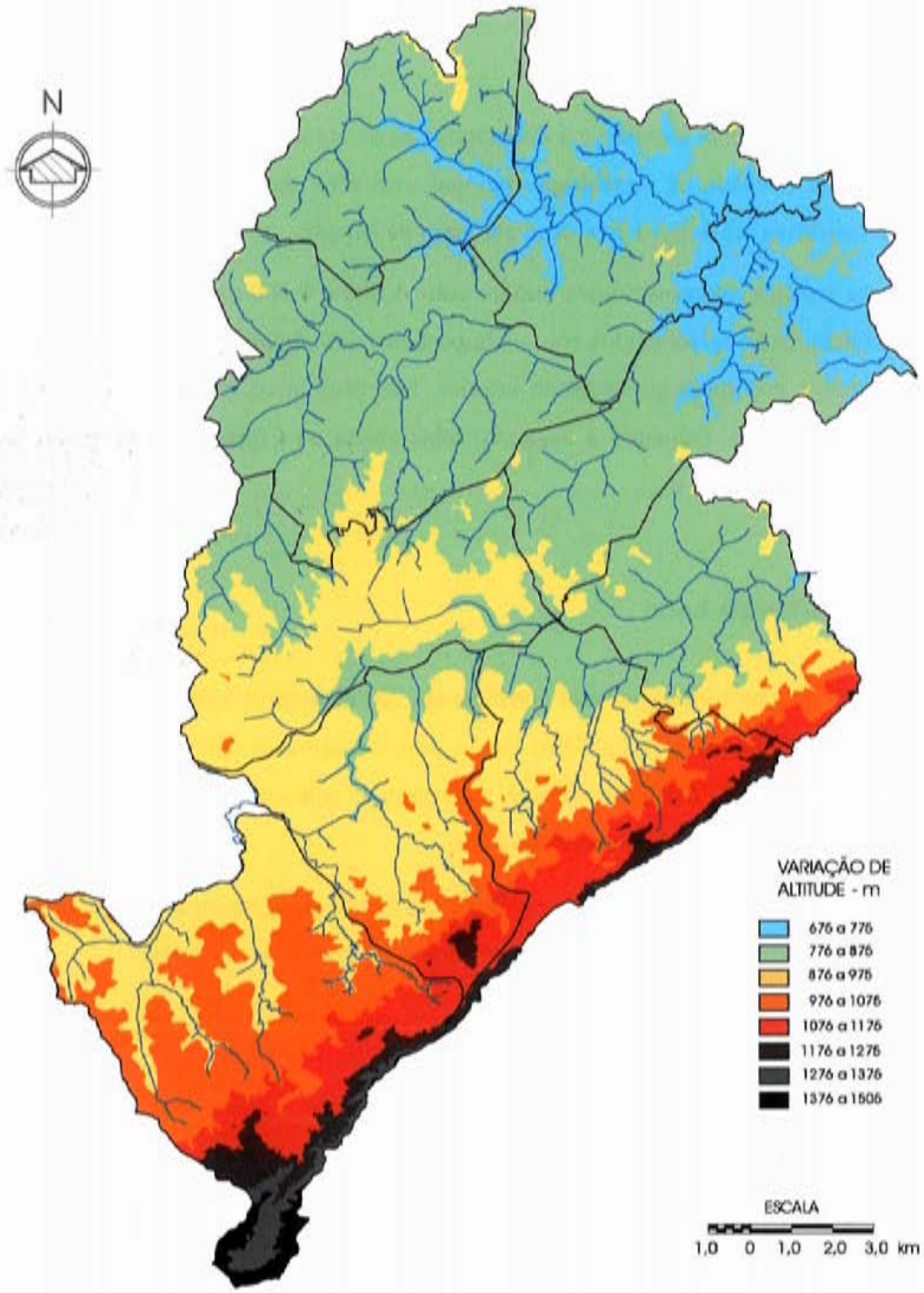
A caracterização da geomorfologia local constitui um dos elementos básicos que serão utilizados na análise de vulnerabilidade dos aqüíferos locais, pois fornecerá os subsídios que condicionam a maior ou menor infiltração das água pluviais, responsáveis pelo carreamento de eventuais cargas contaminantes que cheguem até a zona insaturada.

A configuração do relevo no município de Belo Horizonte pode ser analisada a partir de dois documentos cartográficos, a saber: mapa hipsométrico e mapa de declividade.

2.2.2.1 Mapa Hipsométrico

Esse mapa foi elaborado pela Secretaria Municipal da Habitação da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, originalmente na escala 1:100.000 e acha-se reproduzido na figura 2.4 na escala aproximada de 1:160.000.

Observa-se por esse mapa que esse município atinge suas maiores elevações na região SE, onde se acha delimitado pela Serra do Curral. Nessa serra, as altitudes variam entre 1.100 m e 1.500 m, aumentando ao longo de sua crista de NE para SW. A foto 2.1 mostra a ondulação da crista dessa serra que separa os municípios de Belo Horizonte e Nova Lima, onde é lavrado o minério de ferro no seu flanco SW, visto nessa foto. As encostas dessa serra são responsáveis pela variação das altitudes na faixa entre 950 m e 1.200 m.



Fonte: Secretaria Municipal da Habitação
Prefeitura Municipal de Belo Horizonte

FIGURA 2.4

MAPA HIPSOMÉTRICO DE BELO HORIZONTE

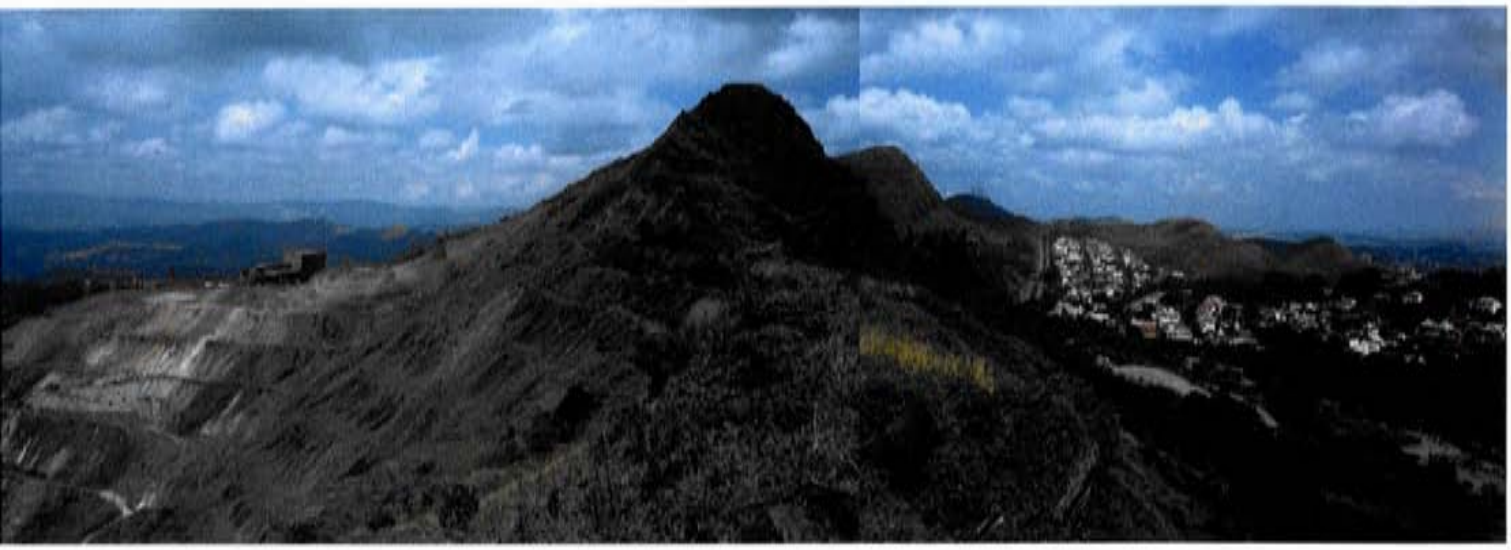


FOTO 2.1 - Vista longitudinal da Serra do Curral em sua crista. A direita da foto, o bairro Mangabeiras de Belo Horizonte. A esquerda, lavra de itabirito no município de Nova Lima.

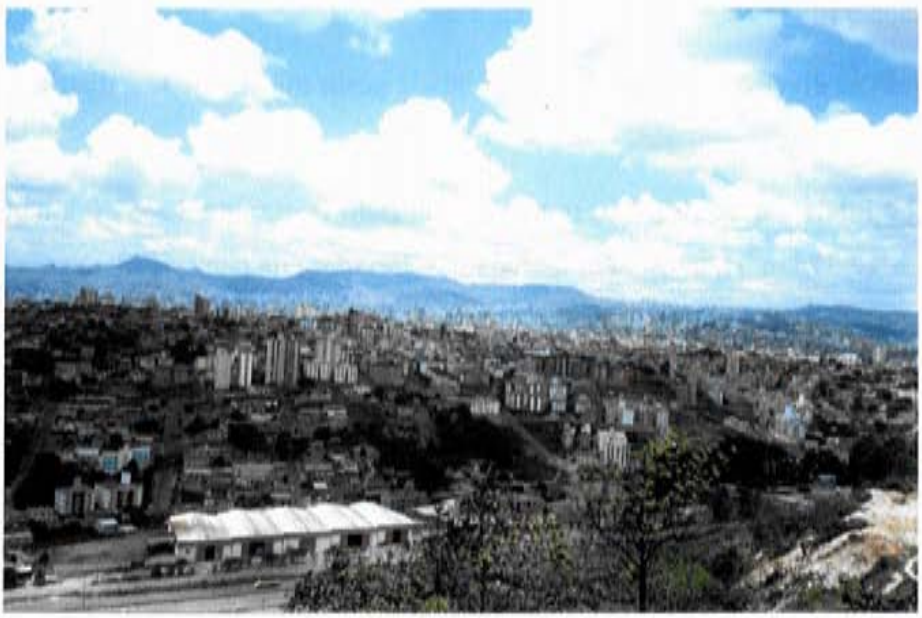


FOTO 2.2 - Relevo suavemente ondulado ocupado pela cidade, vendo-se ao fundo a Serra do Curral.

Passada a influência desse relevo, descortinam-se duas áreas distintas: a sub-bacia do Rio Arrudas, com cotas variando entre 750 m e 950 m, mas com predomínio das cotas superiores a 850 m; a sub-bacia do Ribeirão do Onça, com cotas variando entre 675 m e 950 m, porém com predomínio das cotas inferiores a 800 m.

As cotas mais baixas desse município correspondem às proximidades da confluência do Ribeirão do Onça com o Rio das Velhas, que constitui o nível de base geral para toda drenagem local.

2.2.2.2 Mapa de Declividade

O mapa de declividade constitui um importante elemento para a análise de uso e ocupação do solo, além de subsidiar a configuração dos fluxos de águas superficiais e subterrâneas. Em conseqüência, resulta em uma ferramenta fundamental na caracterização da vulnerabilidade dos aqüíferos dessa região.

Esse mapa foi elaborado pelo autor e se acha representado na figura 2.5 na escala 1:100.000.

Para sua confecção, foi utilizado o mapa planialtimétrico da PRODABEL na escala 1:25.000, com curvas de nível a cada 25 m para as declividades superiores a 10%. Para as declividades inferiores, foi utilizado o mapa planialtimétrico da PRODABEL na escala 1:10.000 com curvas de nível a cada 5 m.

Planimetrando as diversas variações de declividade nesse mapa tem-se a distribuição indicada no Quadro 2.1.

A área total é inferior à extensão do município de Belo Horizonte (335,50 km^2) porque a Lagoa da Pampulha (2,37 km^2) não está computada nas variações de declividade acima tabeladas.

Constata-se nesse quadro que 87% do município de Belo Horizonte possuem declividade fraca a média (inferior a 20%), sendo desprezível a representação de declividades muito fortes (acima de 50%).

Serão, assim, analisadas as principais características dessas duas faixas de declividade, incluindo a sua influência para a infiltração das águas pluviais.

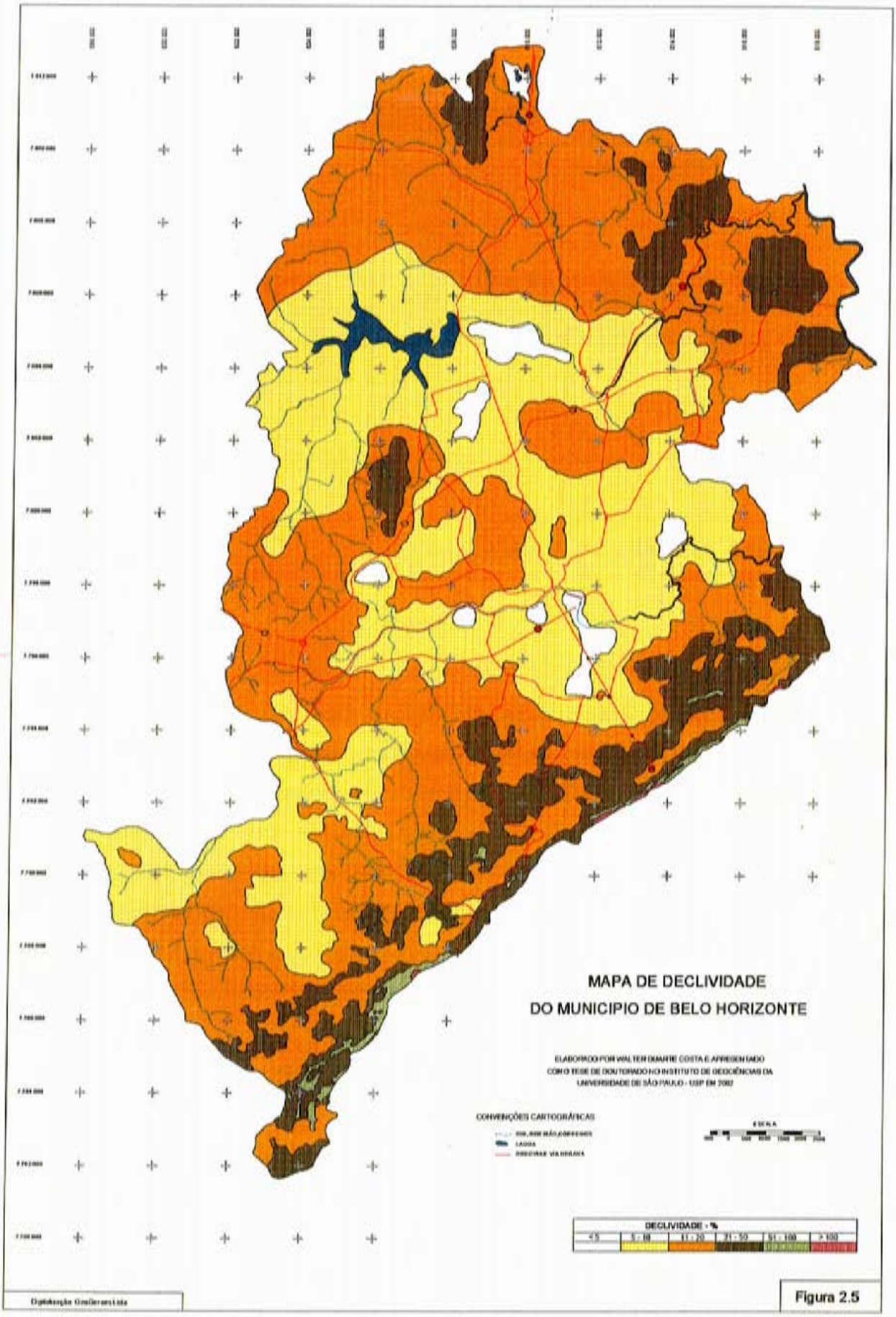

MAPA DE DECLIVIDADE
DO MUNICIPIO DE BELO HORIZONTE
ELABORADO POR WALTER DUARTE COSTA E APRESENTADO
COMO TESE DE DOUTORADO NO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP EM 2002
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS
ESCALA
DECLIVIDADE - %
< 5
5 - 10
11 - 20
21 - 50
51 - 100
> 100

Figura 2.5

QUADRO 2.1 - DISTRIBUIÇÃO DAS DECLIVIDADES NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE

DECLIVIDADE		ÁREA – km²	%
CLASSIFICAÇÃO	VALOR		
Muito Fraca	< 5%	5,92	1,78
Fraca	5 - 10%	107,55	32,28
Média	11 - 20%	176,29	52,94
Forte	21 - 50%	40,97	12,30
Muito Forte	51 - 100%	2,18	0,01
Extremamente Forte	> 100%	0,22	-
		333,13	

a) Áreas de Declividade Média a Fraca

Essas áreas correspondem à Depressão Sanfranciscana, com cotas variando entre 700 e 1.000 m, caracterizando a Superfície Sul Americana de Lester King.

Embora essa área esteja mapeada em nível regional como resultante da dissecação fluvial (F1 no mapa da figura 2.3), existe a possibilidade de que grande parte das áreas com fraca declividade tenham resultado da associação de dissecação e acumulação, numa forma composta de evolução morfológica. Exemplo típico de tal associação pode ser observado na área com declividade abaixo de 5% no entorno do campus da UFMG, onde sondagens e poços tubulares detectaram a presença de solos aluvionares com mais de 20 m de espessura. Infelizmente a grande maioria dos poços tubulares não faz distinção em seu perfil litológico sobre os materiais de cobertura da rocha quanto a sua gênese, o que impede de extrapolar essas conclusões para muitas outras áreas aparentemente aplainadas. Nessas áreas, a infiltração das águas pluviais foi favorecida, contribuindo não apenas pela elevação do nível freático, mas, também, pela formação de solos residuais mais espessos.

A dissecação fluvial deixou nessa área um relevo formado por colinas de topo plano a arqueado, com encostas côncavo-convexas, altitudes entre 800 e 900 m e fracas declividades, como mostrado na foto 2.2, bem como alguns espigões alongados segundo NS, como no Engenho Nogueira e nas regiões norte e nordeste do município, onde as cotas ultrapassam um pouco os

900 m. Nesses espigões as encostas apresentam declividades mais fortes que no entorno das colinas, tornando-se mais vulneráveis ao escoamento torrencial e reduzindo as possibilidades de infiltração.

Espessos depósitos coluviais inconsolidados formam-se nas partes mais baixas das encostas e interdigitam-se com sedimentos aluviais ao longo das baixadas.

Com relação à influência da geologia nessa unidade geomorfológica, podem ser citados os aspectos litológicos e estruturais. Entre as influências litológicas, constata-se a relação entre as áreas com declividade entre 21% e 50% situadas nos espigões já referidos, na parte setentrional desse município e as rochas mais migmatizadas e milonitizadas do embasamento rochoso mais antigo dessa região, conforme será abordado no item 3.

A influência estrutural é flagrante no lineamento da rede de drenagem superficial, o que será objeto de discussão no próximo item. Contudo, pode ser de imediato observado que tal relacionamento constitui um ponto altamente favorável na alimentação dos aqüíferos fissurais dessa região, pois as estruturas que são drenadas diretamente pelos cursos d'água locais são sempre relacionadas com fraturas do embasamento rochoso.

Em resumo, a configuração morfológica retratada pelo mapa de declividade mostra claramente que a evolução do relevo nessa unidade geomorfológica é resultante da combinação da erosão fluvial comandada pelas duas principais drenagens locais – Rio Arrudas e Ribeirão do Onça – com as características litológicas e estruturais reinantes nessa área.

b) Área de Declividade Forte a Muito Forte

Essa área apresenta uma nítida correspondência com a unidade geomorfológica do Quadrilátero Ferrífero, ocupando uma faixa de direção NE-SW, com largura média de 2 km e extensão de 20 km, situada na extremidade S/SE do município de Belo Horizonte.

Essa faixa corresponde à Serra do Curral, apresentando em sua crista cotas variáveis entre 1.150 m e 1.450 m, nitidamente correlacionáveis com as Superfícies Gondwana e Pós-Gondwana.

A geologia comanda a morfologia dessa unidade, como pode ser bem constatado no mapa de declividade a ser cotejado mais adiante com o mapa geológico da figura 3.2.

Assim, nota-se em plena faixa de maiores declividades, zonas com declividades entre 11% e 20% e até entre 5% e 10%. Tais zonas correspondem à Formação Gandarela, constituída por calcários dolomíticos e filitos, rochas de fraca resistência à erosão e à decomposição.

Em contrapartida, as declividades entre 21% e 50% são relacionadas com os quartzitos e as declividades superiores a 50% relacionados com os itabiritos mais resistentes e que ocupam a crista da Serra do Curral, sendo alvo da extração de minério de ferro no flanco sul/sudeste dessa área (foto 2.1).

As condições de escoamento superficial são altamente favoráveis nessa unidade geomorfológica, em detrimento das condições de infiltração, responsáveis pela realimentação dos aqüíferos.

2.3. HIDROLOGIA

O município de Belo Horizonte situa-se na parte mais superior da Bacia do Rio São Francisco, sendo cortado por dois tributários de um dos maiores formadores dessa bacia, ou seja, o Rio das Velhas.

Situando-se ao pé de uma serra, esse município conta com uma drenagem muito jovem, onde duas micro-bacias possuem quase todos os seus tributários nascendo no próprio município.

Essas bacias referem-se ao Rio Arrudas e ao Ribeirão do Onça. O primeiro nasce na extremidade sul do município, na encosta da Serra do Curral, margeia o município no flanco SE por 4 km e logo se dirige nas direções N e NE para cruzar todo o município numa extensão de quase 20 km.

Conforme indicado no mapa de declividade (desenho 2.1), os principais tributários desse rio pela margem direita nascem todos na Serra do Curral, e pela margem esquerda, apenas dois nascem no município limítrofe de Contagem (córregos Ferrugem e Água Branca).

O Ribeirão do Onça recebe toda a contribuição da região setentrional do município, iniciando-se pelos formadores da Lagoa da Pampulha, onde se destacam os córregos Cabral e Bom Jesus que nascem no município de Contagem. As águas vertidas dessa lagoa vão formar o Córrego da Pampulha, que após receber toda a drenagem da região norte do município passa a ser chamado de Ribeirão do Onça.

Toda a drenagem desse município guarda estreita relação com as estruturas geológicas e, mesmo na escala 1:100.000, podem ser observados extensos trechos retilinizados dessa drenagem

evidenciando essa relação. As direções mais freqüentes desses trechos são: NW-SE, NS e NE-SW. No item 3.2, essas direções serão relacionadas às estruturas geológicas presentes nessa região.

A maior parte da rede de drenagem desse município é perene, graças à descarga de base garantida pela elevada precipitação e reduzida evapotranspiração conseqüente da destruição da vegetação na área urbana.

Ainda assim, é reduzida a vazão desses rios no período mais seco do ano e o próprio Rio Arrudas apresenta um volume muito reduzido, como mostrado na foto 2.3, considerando que nesse volume está incluído todo o despejo de esgotos sanitários e industriais da cidade, como pode ser observado na foto 2.4.

O Rio das Velhas, que recebe toda a contribuição do Rio Arrudas e Ribeirão do Onça, chega a constituir limite entre os municípios de Belo Horizonte e Santa Luzia, numa extensão de 7 km na extremidade NE desse município. Esse rio nasce nas proximidades da cidade de Ouro Preto, 70 km acima da confluência com o Rio Arrudas e por sua elevada contribuição, possui uma grande vazão nos pontos de afluência do Arrudas e do Onça, registrando uma estação fluviométrica logo a jusante dessa última confluência os seguintes valores: Q_{min} = 11,6 m^3/s; Q_{med} = 73,1 m^3/s; e Q_{max} = 2.655 m^3/s. É bem verdade que esse rio recebe a contribuição de esgotos de inúmeras cidades, bem como efluentes de minerações situadas no Quadrilátero Ferrífero.

Os efluentes de toxidade variável e das mais diferentes procedências que chegam ao Rio Arrudas e Ribeirão do Onça tornam das piores a qualidade dessas águas, como pode ser observado no mapa da Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM – apresentado na figura 2.6. Nesse mapa, pode-se notar que os únicos cursos d'água do Estado de Minas Gerais a apresentar um nível de qualidade de suas águas classificado como **muito ruim** (IQA < 25) são o Rio Arrudas e o Ribeirão do Onça, sendo também considerada como **alta** a contaminação por tóxicos nesses cursos d'água. Na medida em que esses poluentes vão sendo diluídos com o maior volume das águas, o rio das Velhas vai melhorando sua qualidade, passando de ***ruim*** a ***médio*** e finalmente atingindo um nível ***bom*** quando essas águas chegam ao rio São Francisco.

Conforme pode ser observado no mapa de declividade – figura 2.5, todo o fluxo das águas superficiais tem o sentido S/SW → N/NE, com exceção da reduzida área correspondente ao interflúvio das duas micro-bacias hidrográficas e no limite norte desse município.

FOTO 2.3. - Rio Arrudas no centro da cidade, observando-se seu total revestimento em concreto, com o fluxo restrito à parte central de sua calha. A contribuição dos esgotos pode ser notada pelos reduzidos fluxos laterais.

FOTO 2.4 - Trecho mais superior do Rio Arrudas, ainda sem revestimento, e a recepção de esgotos, que incluem efluentes industriais, provenientes da indústria Manesmann, vista ao fundo.

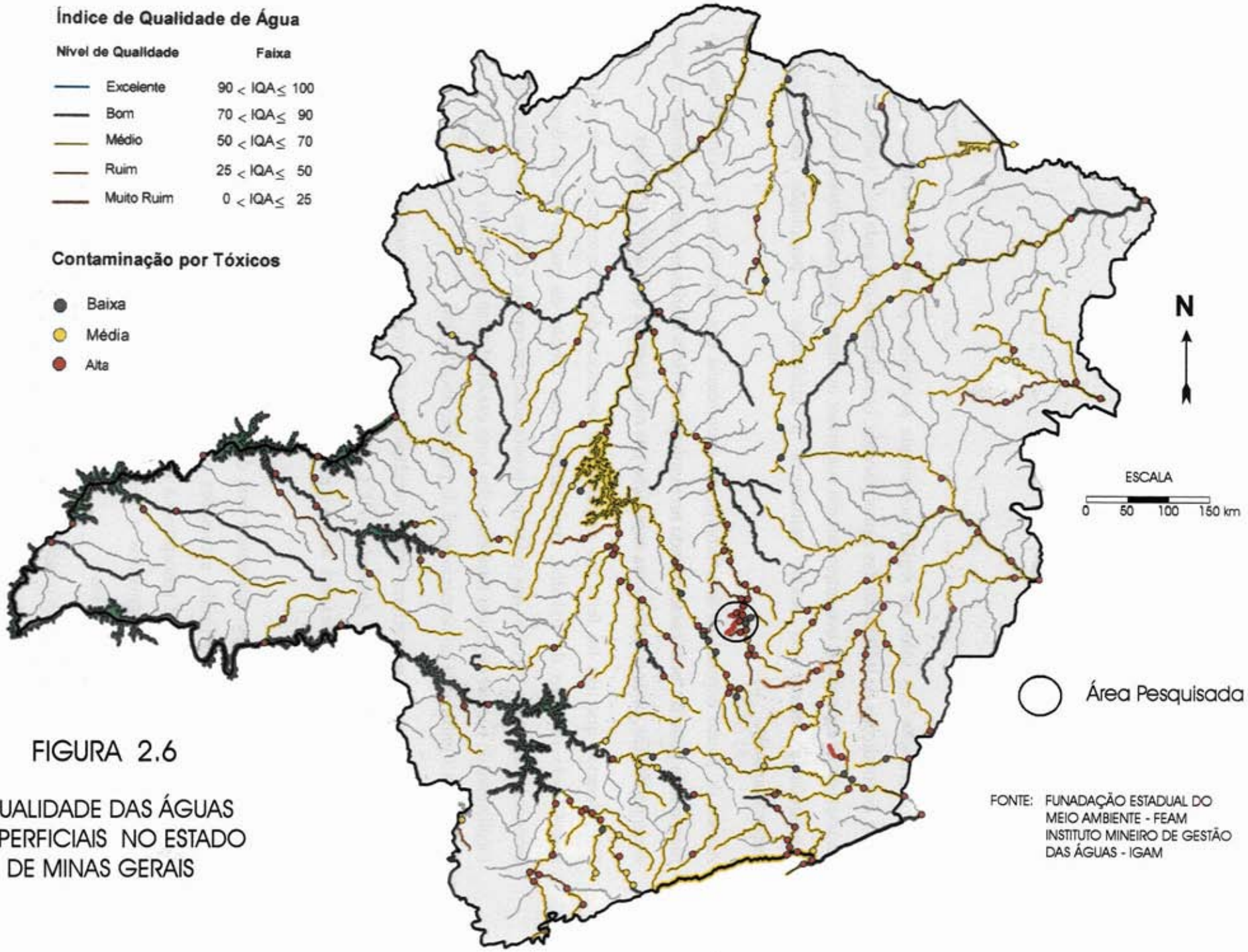


FIGURA 2.6

QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NO ESTADO DE MINAS GERAIS

FONTE: FUNADAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM
INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM

Esse fluxo não é muito diferente do fluxo das águas subterrâneas, como será visto no capitulo 4, já que o nível de base dessas bacias – Rio das Velhas – constitui também o principal exutório das águas subterrâneas nessa região.

2.4. PEDOLOGIA

A caracterização dos solos na região pesquisada possibilita proceder as primeiras inferições sobre as condições de infiltração das águas pluviais, considerando que cada solo analisado possui características específicas que implicam em sua maior ou menor permeabilidade, oferecendo, em conseqüência, menor ou maior resistência à infiltração e percolação dessas águas, respectivamente.

Apesar de pouco exposto na área urbana, em decorrência das construções e pavimentação das ruas, o solo pode ser bem caracterizado no município de Belo Horizonte, principalmente em suas áreas periféricas, onde é maior a sua exposição nas ruas, cortes e quintais residenciais.

Considerando que não foi feito um mapeamento detalhado dos diferentes tipos de solos, não apenas pelo objetivo do trabalho, mas também em função da escala de abordagem, será comentada apenas a variação dos solos que predominam na região, embora algumas ocorrências localizadas de rochas originem também solos com características específicas em áreas reduzidas e de pouca significação no contexto geral da presente abordagem.

Predomina na região setentrional desse município, na proporção de aproximadamente 60%, um solo ***Podzólico Vermelho Amarelo –PVA***, classificado pelo CETEC (1983) como sendo distrófico, A moderado, textura areno-argilosa e típico de relevo ondulado a fortemente ondulado.

Esse solo caracteriza-se por apresentar boa diferenciação de horizontes, com um horizonte B textural, estrutura bem definida, saturações em bases e por alumínio inferiores a 50% e com baixa fertilidade. É em geral susceptível à erosão. Na área estudada, esse solo é resultante da alteração de gnaisses e migmatitos e pelos testes realizados apresenta uma condutividade hidráulica média de 1,1 x 10^{-4} cm/s.

Na parte meridional do município, ocupando cerca de 30% de sua extensão total, aparece um ***Latossolo Vermelho Amarelo – LVA***, classificado pelo CETEC (1983) como sendo também

distrófico, A moderado e textura argilosa. Caracteriza-se por apresentar pouca diferenciação entre os horizontes, um horizonte B espesso e avermelhado e saturações por base e por alumínio inferiores a 50%. Nessa área, esse solo é resultante da decomposição de xistos, filitos e dolomitos, apresentando uma condutividade hidráulica média de 5,1 x 10^{-5} cm/s.

Finalmente, ocorre o solo ***litólico***, ocupando aproximadamente 10% de toda a área estudada e relacionado com as litologias mais resistentes formadoras da Serra do Curral.

Trata-se de um solo muito raso, como pode ser visto na foto 3.5 (capítulo de Geologia), onde muitas vezes o horizonte A repousa diretamente sobre a rocha. Sua textura é essencialmente arenosa, por derivar geralmente de quartzitos, embora ocorram manchas isoladas e restritas desses solos sobre rochas miloníticas na região setentrional desse município.

As medições efetuadas nesse solo acusaram uma condutividade hidráulica média de 6,0 x 10^{-4} cm/s.

3. GEOLOGIA

3.1. GEOLOGIA REGIONAL

Uma síntese da geologia regional se faz necessária para que se entenda melhor a relação entre as unidades litoestratigráficas presentes na área estudada, incluindo sua configuração estrutural e a evolução estratigráfica e tectônica ocorrida em uma região mais ampla.

3.1.1. As grandes Unidades Litoestratigráficas

A análise da geologia regional, na qual se insere a área estudada, será procedida com base no trabalho "Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais" elaborado para a Companhia Mineradora de Minas Gerais – COMIG – em 1994.

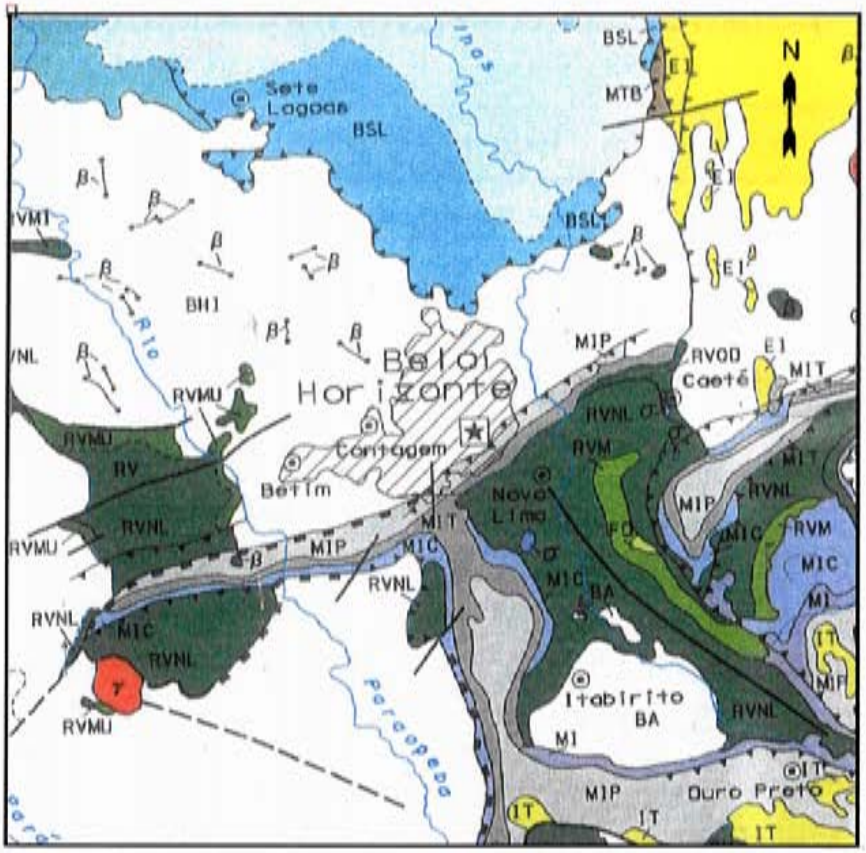
Esse projeto foi contratado à empresa Paulo Abib Engenharia S.A. e foi constituído pela seguinte equipe técnica: Antônio Carlos Pedrosa Soares (UFMG), Marcel Auguste Dardenne (UnB), Yociteru Hasui (UNESP) e Flávio Dairo Café de Castro, Marcus Vinicius Andrade de Carvalho e Andrea Cássia dos Reis (Paulo Abib Engenharia S.A.).

Na presente análise será considerada uma área de 14.400 km^2 no entorno do município de Belo Horizonte, conforme apresentado no mapa da figura 3.1, na escala 1:1.000.000.

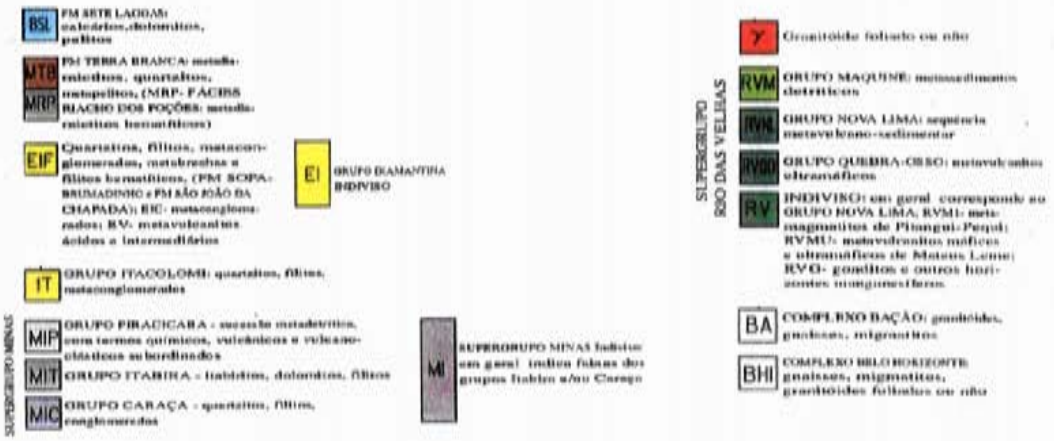
As diversas unidades estratigráficas aí mapeadas podem ser correlacionadas com o tempo em que foram formadas através da Coluna Litoestratigráfica apresentada no Quadro 3.1, que inclui uma síntese da litologia dessas unidades.

Observa-se nesse quadro que o embasamento mais antigo é representado pelos Complexos gnáissicos-granitóides de Belo Horizonte e Bação. Nesses complexos as associações são essencialmente dos tipos tonalito-trondhjemito-granodiorito e granito-granodiorito, sendo comuns as suítes granitóides cálcio-alcalinas.

Associadas a esses complexos são encontradas as seqüências metavulcano-sedimentares como o Supergrupo Rio das Velhas, que se caracterizam tipicamente como *"greenstone belts"* (Schrank & Silva, 1993).



LEGENDA



Fonte: Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais
Companhia Mineradora de Minas Gerais
COMIG - 1994

FIGURA 3.1
GEOLOGIA REGIONAL

QUADRO 3.1 - COLUNA LITOESTRATIGRÁFICA REGIONAL

ERA	PERÍODO	UNIDADE ESTRATIGRÁFICA			SÍM-BOLO	LITOLOGIA
CENOZÓICO	TER/QUA	FORMAÇÃO FONSECA			**FO**	Sed. detr.,later. e linh.
PROTERO-ZÓICO	SUPERIOR	GRUPO BAMBUÍ	SUBGRUPO PARAOPEBA	F. SERRA DE STª HELENA	**BSH**	Pelitos
				F. SETE LAGOAS	**BSL**	Calcários e dolomitos
			SUBGRUPO PARAOPEBA INDIVISO		**BP**	Pelitos, calcários e dolomitos
		GRUPO MACAÚBAS	F. TERRA BRANCA		**MTB**	Metadiamictitos e metapelitos
	MÉDIO	SUPERGRUPO ESPINHAÇO	GRUPO DIAMAN-TINA	F. SOPA-BRUMADINHO	**EIF**	Quartzito, filito e metaconglomerado
				INDIVISO	**EI**	Quartzito, metacong., filito e metabrechas
		GRUPO ITACOLOMI			**IT**	Quartzitos, filitos e metaconglomerados
	INFERIOR	SUPERGRUPO MINAS	GRUPO PIRACICABA		**MIP**	Xistos, filitos e metaconglomerados
			GRUPO ITABIRA		**MIT**	Filito, dolomito e itabirito
			GRUPO CARAÇA		**MIC**	Quartzito, filito e conglomerado
ARQUEANO	SUPERIOR	SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS	GRUPO MAQUINÉ		**RVM**	Metassedimentos detríticos
			GRUPO NOVA LIMA		**RVNL**	Seq. metavulcano-sedimentar
			INDIVISO		**RV**	Metamagmatitos e metavulcanitos
	INFERIOR	COMPLEXO BELO HORIZONTE			**BHI**	Gnaisses, migmatitos e granitóides
		COMPLEXO BAÇÃO			**BA**	Gnaisses, migmatitos e granitóides
INDIVISO					α	Corpos ultramáficos
					β	Rochas básicas
					γ	Granitóides diversos

No limiar do Arqueano com o Paleoproterozóico depositou-se o Supergrupo Minas, embora a datação de 2.000 Ma realizada na porção mais superior desse pacote (Formação Sabará) indique

um grande lapso de tempo entre essa formação e as unidades que lhe são sotopostas no Supergrupo Minas (Machado & Noce, 1993). Esse pacote de rochas metassedimentares, notadamente os dois grupos mais antigos, indicaria um embaciamento em condições de tectônica calma, plataformal, iniciada já no fim do Arqueano.

No final do Proterozóico inferior e estendendo-se um pouco para o Proterozóico médio, formou-se o Grupo Itacolomi, que aparece no sul da área mapeada na figura 3.1

No Proterozóico médio formou-se o Supergrupo Espinhaço, que se inicia no canto NE da área apresentada e se prolonga na direção norte por centenas de quilômetros. Trata-se de uma bacia metavulcano-sedimentar, que se caracteriza como um rifte intracontinental, cuja evolução teve início em torno de 1.750 Ma (Torquato & Fogaça, 1993; Uhlein, 1991).

O Proterozóico superior encontra no Grupo Bambuí sua maior representação na área mapeada. A exemplo do Supergrupo Espinhaço, inicia-se na parte norte desse mapa e se prolonga até adentrar o Estado da Bahia por centenas de quilômetros. Esse grupo é representado nessa área por uma mega-seqüência pelito-carbonatada (Grupo Paraopeba) que se depositou em ambiente de plataforma carbonática isolada, típico de um mar raso e de águas quentes, favorecendo a precipitação de cálcio e magnésio.

No canto NE desse mapa aparece uma pequena representação do Grupo Macaúbas, que integra uma seqüência glácio-litorânea associada a vulcanismo básico de fundo oceânico (Karfunkel et al, 1985) e que se estende por grandes distâncias nas direções norte e leste.

3.1.2. Síntese da Evolução Geotectônica

A geologia comentada para a área exposta no mapa da figura 3.1 e de sua expansão, principalmente na direção norte, possibilita historiar sinteticamente a evolução geotectônica ocorrida na região analisada no presente trabalho.

Essa evolução admite uma divisão em etapas nas quais se destacaram eventos responsáveis pela formação de diferentes litologias e eventos responsáveis pela deformação do substrato rochoso com características próprias e bem definidas.

Primeira etapa: A megaestruturação Arqueana-Paleoproterozóica

Grande parte do início dessa história é obscura e desconhecida por envolver uma longa etapa em que foram formadas as rochas mais antigas.

No Paleoarqueano (Fuck, 1991) teria surgido o Bloco Brasília, um dos quatro grandes blocos crustais que integram o sudeste brasileiro, segundo a concepção geotectônica de Haralyi & Hasui (1982) para a megaestruturação arqueana dessa região.

Esse bloco inclui quase todo o Estado de Minas Gerais, excetuando suas extremidades leste (Bloco Vitória), sul (Bloco São Paulo) e oeste (Bloco Paraná).

No Bloco Brasília teria se estruturado em torno de 3.300 Ma a crosta siálica que compõe os complexos gnáissico-migmatíticos como o Belo Horizonte (Machado & Noce, 1993).

Cinturões de rocha verde com características komatiíticas (*archean greenstone belts*) começaram a ser edificadas há no mínimo 3.100 Ma, perdurando até 2.770 Ma, quando foram formadas as litologias do Supergrupo Rio das Velhas (Schranck & Silva, 1993; Machado & Noce, 1993).

O magmatismo granito álcali-cálcico evidencia a amalgamação final dos terrenos granito-grenstone do Bloco Brasília, que passaria a se comportar como uma extensa plataforma neoarqueana, fornecendo as condições ambientais para a deposição entre 2.600 e 2.400 Ma das seqüências metassedimentares detríticas e químicas do Supergrupo Minas (Dor, 1969; Ladeira, 1980).

No final do Proterozóico inferior originaram-se diversos corpos granitóides que, juntamente com a seqüência tipo *flysch* (Dor, 1969) da Formação Sabará, sugerem o estabelecimento de um arco magmático seguido de colisão continental (Machado & Noce, 1993). Esse evento colisional é também sugerido com base em dados estruturais por Marshak & Alkimim (1989). Chemale et al (1991) apresenta, todavia, argumentação para sustentar a hipótese de que o Evento Transamazônico manifesta-se no Quadrilátero Ferrífero apenas por tectônica extensional.

É possível, todavia, que inúmeros e diferentes regimes tectônicos tenham ocorrido sucessivamente nesse longo período de tempo (200 Ma), que permitiu estabelecer a configuração estrutural bastante complexa dos metamorfitos do Supergrupo Minas nessa região.

O Grupo Itacolomi, embora iniciado no Proterozóico inferior, é correlacionado ao Supergrupo Espinhaço do Proterozóico médio, representando um ambiente deposicional de leques aluviais, rios entrelaçados e planícies de maré (Alkimin, 1987).

Essa etapa constitui, sem dúvida, a mais importante para a área estudada.

Segunda Etapa: As Grandes Bacias Mesoproterozóicas

Marginando o Bloco Brasília surgiram grandes bacias que se desenvolveram no sentido NS por grandes extensões, porém apenas a Bacia do Espinhaço atinge a área analisada em termos regionais no presente trabalho.

O estágio inicial de evolução dessas bacias corresponde à abertura de riftes continentais a partir de 1.750 Ma. Esse estágio é representado por sedimentação clástica característica, resultando em quartzitos e conglomerados, associada a vulcanismo ácido e básico e a intrusão de granitos anorogênicos (Uhlein, 1991).

Considerando a similaridade dos arranjos estruturais e dos vetores de transporte tectônico compressivo entre as unidades da bacia do Espinhaço e as unidades neoproterozóicas, são muito fortes as evidências que apenas o Evento Brasiliano afetou as rochas mesoproterozóicas.

Terceira Etapa: O Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais Móveis

No início do Proterozóico superior, uma extensa região do Bloco Brasília que permaneceria estável por um longo período foi palco de intenso fraturamento. Essa região que viria a se constituir no Cráton do São Francisco sofreu importante processo de rifteamento no intervalo de 1.050 a 900 Ma, possibilitando a cristalização de diques básicos (Oliveira & Knauer, 1993) e de metamagmatitos ácidos e intermediários (Brito Neves et al, 1993).

Na margem oriental desse cráton formou-se uma bacia marinho-plataformal ativada por falhas (Uhlein, 1991), que foi entulhada por depósitos turbidíticos com marcante presença de diamictitos gradados, formando o Grupo Macaúbas (Pedrosa Soares et al, 1992). Segundo Machado et al (1989), essa sedimentação turbidítica teria ocorrido há cerca de 900 Ma.

Ao final da evolução das margens passivas neoproterozóicas, o nível dos mares subiu generalizadamente e a subsidência propagou-se sobre a área continental do São Francisco

(Dardenne, 1978), propiciando um ambiente de plataforma carbonática em condições intertropicais que possibilitou a deposição das seqüências pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí. Essa sedimentação teria ocorrido entre 800 e 690 Ma (Dardenne, 1981).

Embora o Cráton do São Francisco tenha permanecido estável, foi bastante pressionado pelo evento tectônico Brasiliano no final do Proterozóico, quando faixas marginais a esse cráton representaram orógenos resultantes da inversão tectônica das bacias instaladas marginalmente a esse cráton.

Esses orógenos foram edificados diacronicamente no intervalo de tempo entre 800 e 500 Ma, que se caracteriza como um prolongado período orogenético, onde os mecanismos de Tectônica de Placas ensejaram arranjos colisionais que envolveram e limitaram o Cráton do São Francisco (Condie, 1982).

Esse cenário colisional é fundamentalmente marcado por etapas de tectônica compressiva associadas a diferentes regimes metamórficos, episódios magmáticos, ajuste de blocos e instalação de bacias de antepaís (Alkimin et al, 1993).

Esses eventos praticamente finalizaram a história da evolução geotectônica na área analisada, pois alguns eventos fanerozóicos não atingiram significantemente essa região.

3.2. GEOLOGIA LOCAL

A caracterização da geologia local visa definir os principais elementos que subsidiarão a avaliação hidrogeológica, como a formação de solos, a permeabilidade de solos e rochas, e a tipificação das descontinuidades que interferem no fluxo das água subterrâneas.

A análise da geologia local foi baseada no trabalho elaborado através do convênio Prefeitura Municipal de Belo Horizonte/Universidade Federal de Minas Gerais, realizado em 1994-1995 e que resultou no Mapa Geológico do Município de Belo Horizonte, acompanhado do texto explicativo intitulado "Estudos Geológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos e Geoambientais Integrados no Município de Belo Horizonte".

Esse trabalho teve a responsabilidade do seguinte corpo docente do Departamento de Geologia da UFMG: Adebani Braz da Silva, Edezio Teixeira de Carvalho, Lucia Maria Fantinel, Antônio Wilson Romano e Claudia da Sanctia Viana.

O mapa geológico foi apresentado na escala 1:25.000, todavia, foi digitalizado em meio magnético no presente trabalho e impresso na escala 1:130.000 (figura 3.2).

3.2.1. Litoestratigrafia

Da coluna litoestratigráfica apresentada no Quadro 3.1, muitas unidades não se acham presentes no mapa geológico do município de Belo Horizonte, apresentado na figura 3.2.

Na verdade, apenas duas unidades estratigraficamente definidas se acham presentes nesse mapa: Complexo Belo Horizonte e Supergrupo Minas.

Ainda assim, há uma modificação estratigráfica no Supergrupo Minas, que já era prenunciada nos estudos que antecederam o trabalho abordado para análise da geologia regional.

Naqueles estudos citava-se a possibilidade de ser a Formação Sabará, que aparecia no topo do Grupo Piracicaba, excluída desse grupo, pois havia evidências de que um grande hiato de sedimentação separava as litologias dessas unidades. Posteriormente, estudos realizados por Renger F.E. et al (1994) revelaram datação de 2.150 Ma para a base dessa unidade, que corresponde à data da discordância para as litologias do Grupo Piracicaba. Assim, a antiga Formação Sabará alçou à categoria de grupo.

Complementam o quadro litológico as rochas intrusivas de idade indefinida.

As características litológicas das diversas unidades mapeadas na figura 3.2 são as seguintes:

3.2.1.1. Complexo Belo Horizonte

O Complexo Belo Horizonte representa quase 70% da extensão desse município e corresponde ao substrato pré-cambriano mais antigo da região.

Nesse complexo agrupam-se as rochas gnáissicas arqueanas, parcialmente migmatizadas e milonitizadas no Paleoproterozóico. Essas modificações foram datadas como 2.860 Ma e 2.041 Ma respectivamente (Noce et al, 1994).

Em geral esses gnaisses são bandados (foto 3.1), de cor cinza, granulação fina a grossa, com bandamento composicional definido pela alternância de bandas centimétricas a milimétricas, quartzo-feldspáticas, de cor clara, com bandas finas, escuras, ricas em biotita e anfibólio.

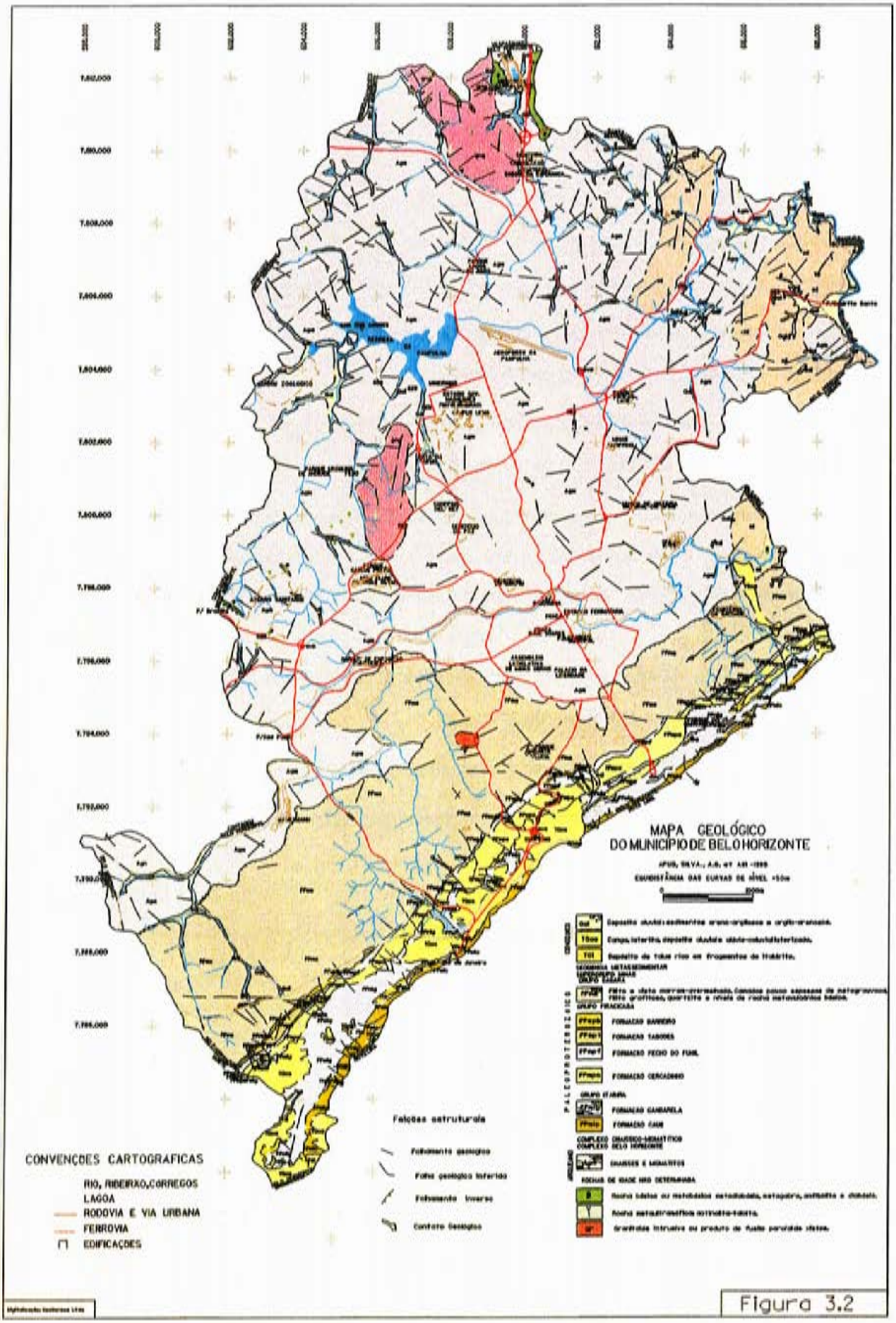

MAPA GEOLÓGICO
DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE
Falhas estruturais
CONVENÇÕES CARTOGRAFICAS
RIO, RIBEIRÃO, CORREGOS
LAGOA
RODOVIA E VIA URBANA
FERROVIA
EDIFICAÇÕES

Figura 3.2

FOTO 3.1 - Gnaisse do Complexo Belo Horizonte com fraturas transversais esparsadas e pouco persistentes, influindo de forma negativa na percolação das águas subterrâneas.

FOTO 3.2 - Pedreira do Engenho Nogueira já desativada, onde se constata o risco dos moradores em seu entorno. Corresponde ao gnaisse da foto anterior

A composição varia de granítica a monzonítica e tonalítica, tendo sido diferenciadas no mapeamento referido algumas variações litológicas representadas por gnaisses de granulação grossa (**gng**) e gnaisses e migmatitos milonitizados (**ml**).

Essas variações diferenciadas destacam-se geralmente pela maior resistência à decomposição e à erosão, permanecendo como cristas quase desprovidas de solo de cobertura, com elevada declividade e ensejando a abertura de um grande número de pedreiras no passado (foto 3.2), hoje quase totalmente desativadas pelo órgão ambiental.

Cortando indistintamente o Complexo Belo Horizonte, nas mais variadas direções, ocorrem batólitos, sills, diques e veios das mais variadas naturezas petrográficas, que serão comentadas mais adiante.

As litologias do Complexo Belo Horizonte alteram, em geral, com relativa facilidade, originando solos areno-argilosos que podem alcançar espessuras superiores a 50 m.

Em média, esses solos apresentam uma condutividade hidráulica de 1,1 x 10^{-4} cm/s, que pode ser considerada relativamente elevada para esse tipo de solo.

3.2.1.2. Supergrupo Minas

Essa seqüência metavulcano-sedimentar ocupa uma faixa de direção NE-SW que se estende desde os limites S/SE desse município até as proximidades do rio Arrudas, ocupando uma extensão pouco superior a 30% de todo o município.

Embora no Quadro 3.1. essa seqüência se inicie com o Grupo Caraça, suas litologias somente se acham presentes no flanco SE da Serra do Curral e, portanto, já no município vizinho de Nova Lima.

Assim, serão comentadas apenas as unidades estratigráficas presentes no município de Belo Horizonte, a saber: Grupo Itabira, Grupo Piracicaba e Grupo Sabará.

a) Grupo Itabira

Esse grupo inclui duas formações de origem química com contato gradacional e de difícil demarcação, que são a Formação Cauê e a Formação Gandarela. Ocupa em conjunto uma faixa

iniciando-se na crista da Serra do Curral (foto 2.1) e estendendo-se por uma largura variável entre 500 e 2000 m.

A ***Formação Cauê*** é constituída por várias litologias ferríferas e, por sua elevada resistência, forma a crista dessa serra bem como o seu terço escarpado mais superior. Sua litologia característica é um *itabirito silicoso*, onde se observa uma alternância rítmica de leitos de hematita e de quartzo, conferindo-lhe um aspecto listado em branco e preto (fotos 3.3 e 3.4). Intercalam-se nesse itabirito camadas e lentes de diferentes espessuras de *itabirito dolomítico, filito hematítico* e *filito dolomítico.*

A Formação Cauê resultou da precipitação química do ferro e da sílica.

Também resultante da precipitação química ocorre a ***Formação Gandarela***, que apresenta não apenas maior largura em seus afloramentos, como mostrado na figura 3.2, mas também maior espessura, sendo conhecida por sondagens a espessura máxima de 400 m para essa unidade (Pomerone, 1994).

A litologia característica dessa unidade estratigráfica é o *dolomito*, puro ou micáceo, de granulação fina a média e coloração creme, cinza, rosa ou vermelha, o último tipo, rico em hematita. Lâminas micáceas de cor cinza esverdeada acham-se intercaladas nesses dolomitos, bem como camadas de *filito* prateado e lentes de *itabirito dolomítico.*

As lentes de itabirito assumem espessura desde 1 ou 2 m até dezenas de metros. Ocorrem ainda lentes de *itabirito* ricas em manganês que são explorados como minério de ferro.

Morfologicamente a Formação Gandarela aparece deprimida ao longo da encosta da Serra do Curral, sendo responsável pelos patamares de menor declividade observados no mapa da figura 3.2.

Com relação à decomposição, essas litologias apresentam uma fraca resistência, propiciando a formação de solos espessos, areno-argilosos e com condutividade hidráulica média de $4{,}2 \times 10^{-5}$ cm/s no seu trecho mais superior.

b) Grupo Piracicaba

Embora esse grupo seja constituído por quatro formações distintas, apenas duas delas apresentam continuidade em toda a faixa em que afloram nesse município: Formação Cercadinho e Formação Fecho do Funil. As duas outras – Formação Taboões e Formação Barreiro – são

FOTO 3.3 - Quartzito Cauê intensamente fraturado, com oxidação proveniente do ferro intercalado nessa rocha. As fraturas abertas facilitam o fluxo das águas subterrâneas.

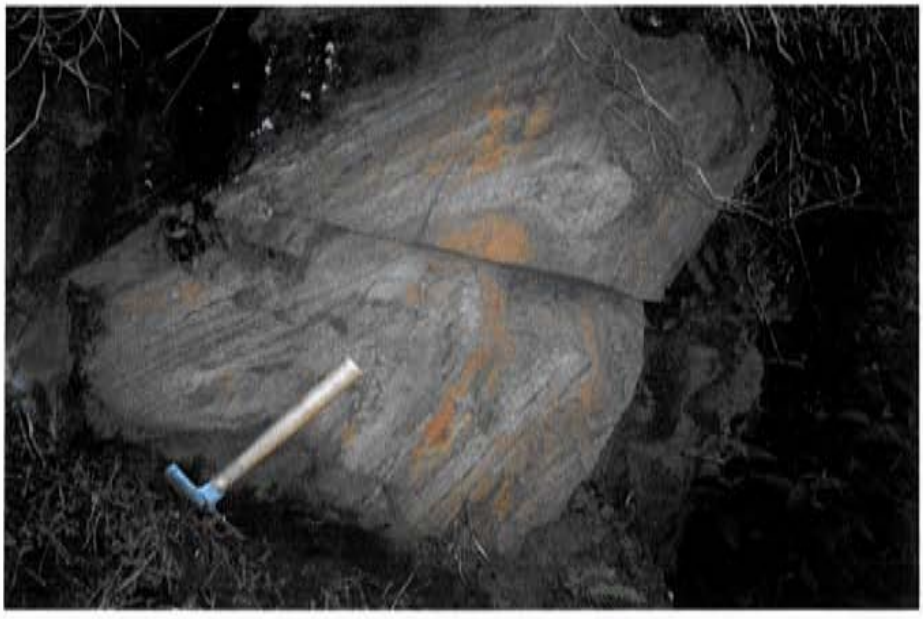


FOTO 3.4 - Quartzito Cauê, mostrando dobra invertida cortada por falha de pequeno rejeito. O plano axial corresponde a um plano de fratura aberta.

descontínuas e pouco espessas. No conjunto, esse grupo ocupa uma faixa de direção NE-SW com largura variável entre 200 e 1.000 m.

A ***Formação Cercadinho*** constitui a base do grupo constituído de metassedimentos clásticos depositados em discordância erosiva sobre a Formação Gandarela. Essa unidade foi descrita por Pomerone (1958) a partir de afloramentos estudados no Morro Cercadinho, a SW de Belo Horizonte, onde atinge 317 m de espessura. No município de Belo Horizonte essa formação é a mais representativa desse grupo, chegando a atingir a largura de 700 m (ver figura 3.2).

Sua litologia característica é o *quartzito* cinza em estratos de espessura centimétrica a métrica, formando sucessivas cristas alternadas, como mostrado na foto 3.5. São comuns intercalações de *filito* cinza prateado hematítico. Pela sua elevada resistência, essa rocha é responsável por uma erosão diferencial em relação aos estratos filitosos que lhe fazem contato, originando sempre trechos com declividades mais acentuadas ao longo da encosta da Serra do Curral.

Quando alterado esse quartzito forma um solo arenoso, embora pouco espesso, com condutividade hidráulica média no seu trecho mais superior de $6{,}0 \times 10^{-4}$ cm/s.

A ***Formação Fecho do Funil*** é menos espessa e assume menor largura no mapa geológico, embora não apresente descontinuidades. É constituída preponderantemente por um *filito sericítico*, embora possua intercalações de *xisto, filito dolomítico* e lentes de *dolomito* Apresenta uma coloração cinza amarelada, variando para ocre a marrom quando alterada.

Por sua reduzida resistência à decomposição e à erosão, constitui sempre um relevo deprimido, com baixas declividades, contrastando com os quartzitos Cercadinho e Taboões que lhe fazem contato.

A ***Formação Taboões***, além de descontínua, aparece apenas em uma reduzida faixa situada na extremidade sul desse município, numa extensão de 2,8 km e largura variável entre 50 e 300 m.

É constituída por um quartzito puro (98% de sílica segundo Barbosa, 1985), de coloração branca a amarelo claro, granulação fina a muito fina, sem evidências de estratificação. Por tais características, Barbosa sugere ser sua origem ligada a recristalização de sedimentos químicos silicosos (cherts) durante o metamorfismo.

A ***Formação Barreiro*** é também muito pouco representada nesse município, variando de largura de afloramento entre 50 e 150 m, estando presente através de duas pequenas faixas na região S/SE.

FOTO 3.5 - Quartzito Cercadinho mostrando xistosidade bem desenvolvida, formando cristas irregulares pelo efeito da erosão

FOTO 3.6 - Fraturas transversais e angulares no Quartzito Cercadinho, sendo as primeiras mais propícias para a percolação das águas subterrâneas.

A principal litologia dessa formação é um *filito* preto, carbonoso, com estrutura fina e laminada, formando, quando alterada, um material terroso fino e pulverulento.

Subordinadamente podem ocorrer variações de um *filito sericítico* de coloração rosa avermelhada ou um *filito ferruginoso.*

c) Grupo Sabará

Essa unidade estratigráfica passou a grupo em função da presença de discordância erosiva na base, além de sua grande espessura e diversidade litológica (Renger et al, 1994).

Além de se constituir na unidade mais espessa do Supergrupo Minas (3.000 m segundo Barbosa, 1979), é também a que apresenta maior extensão no município de Belo Horizonte, variando desde 800 m até 5.500 m a largura da faixa que se estende na direção NE-SW, ocupando a maior parte da zona meridional desse município.

Suas principais litologias são *xistos e filitos*, geralmente de coloração cinza a avermelhada quando sãos (foto 3.7) e amarelada quando alterados (foto 3.8); alteram com muita facilidade, formando solos residuais areno-argilosos e espessos, com condutividade hidráulica média de 6,3 x 10^{-5} cm/s.

Subsidiariamente ocorrem *clorita-xistos* de cor verde quando sãos e amarronzados quando alterados, além de lentes de *metagrauvaca* e camadas de *filito grafitoso* e de *quartzito.*

3.2.1.3. Rochas Intrusivas de idade indefinida

As principais ocorrências de rochas intrusivas são de natureza básica e se concentram no Complexo Belo Horizonte, principalmente na porção setentrional do município, embora apareça um grande dique na região NE do Grupo Sabará.

São rochas de granulação fina a grossa, de cor preta a preto esverdeado e aparecem na forma de diques ou de sills. São representadas por *metagabros, anfibolitos e diabásios.*

Quando alteradas formam um solo argiloso, coeso e de cor marrom avermelhada, contrastando com o solo dos gnaisses encaixantes, geralmente mais arenoso e de cor rosada.

FOTO 3.7 - Filito do Grupo Sabará mostrando xistosidade pronunciada e fraturas transversais e angulares.

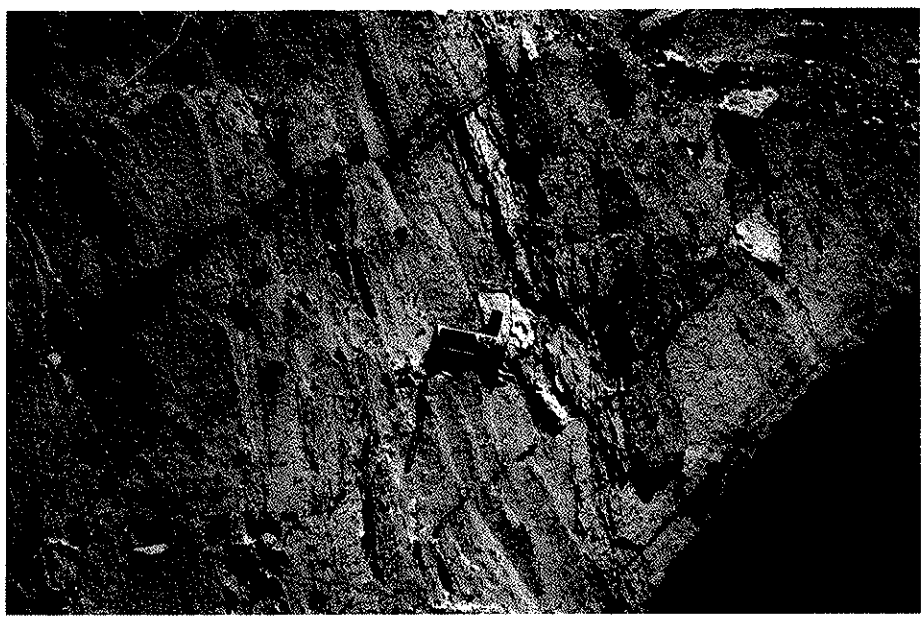


FOTO 3.8 - Decomposição do filito Sabará, mostrando oxidação ao longo das fraturas, como reflexo do maior tempo de contato entre as águas infiltradas e os minerais, em função da reduzida abertura das fraturas.

Rochas ultramáficas são pouco comuns, ocorrendo na região NE do município, ao norte do bairro Canaã e ao sul do Conjunto Paulo VI. São constituídas por *actinolita-talcito e serpentinito.*

Uma ocorrência de um *granitóide* aparece como uma ilha no Grupo Sabará no mapa geológico da figura 3.2, sendo desconhecida sua gênese.

Finalmente, ocorre uma rocha de cor clara e textura porfirítica próxima à pedreira do bairro Belmonte, que parece tratar-se de um *riolito* encaixado em forma de "sill" nos planos estruturais do *gnaisse milonitizado.*

3.2.2. Tectônica e Estruturas

A análise estrutural reveste-se de fundamental importância para a avaliação hidrogeológica, na medida em que justifica a presença de diferentes tipos de descontinuidades, no que se refere às suas dimensões, penetrabilidade, persistência, abertura e disposição espacial. Tais características exercem diferentes influências sobre as condições de armazenamento e fluxo das águas subterrâneas.

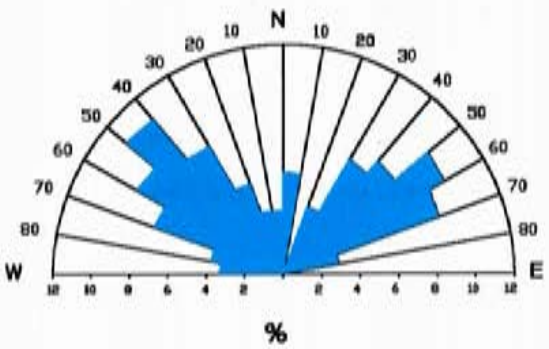
Pela análise da evolução geotectônica procedida no item 3.2.2., pode-se constatar que vários eventos tectônicos se sucederam desde a formação das rochas mais antigas dessa região, mas é possível destacar pelo menos três eventos como mais importantes para a caracterização das estruturas geológicas locais.

O primeiro foi o *Evento Transamazônico*, que seria o responsável pelas maiores deformações do Complexo Belo Horizonte, inclusive com o surgimento de corredores de cisalhamento responsáveis pela milonitização dos gnaisses desse complexo.

Os principais esforços compressivos teriam atuado em direções variáveis, desde NNW-SSE até NW-SE, gerando faixas de cisalhamento na direção NS e fraturas de tração no sentido NW-SE.

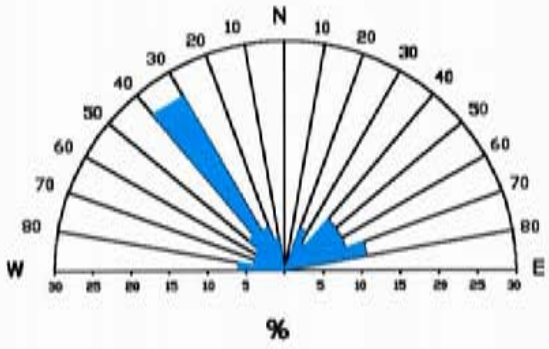
O diagrama de fraturas da figura 3.3 mostra claramente que, apesar da variação de direção das fraturas presentes nesse complexo, podem ser visualizados dois grupos distintos: um entre N30-70E, associado à foliação gnáissica e outro entre N20-70W associado às fraturas de tração. As fraturas de cisalhamento estão variando entre 340° e 10° Azimutes.

COMPLEXO BELO HORIZONTE



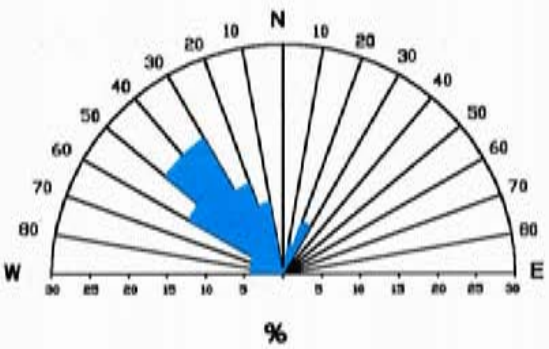
466 FRATURAS

GRUPO SABARÁ



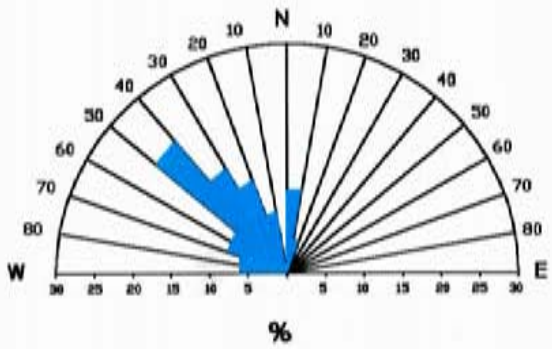
56 FRATURAS

GRUPO PIRACICABA



38 FRATURAS

GRUPO ITABIRA



46 FRATURAS

FIGURA 3.3
FRATURAS POR LITOLOGIA

A grande quantidade de fraturas nessas litologias (466) e a variação de direções assumidas mostram um predomínio do regime *ruptil* de deformação para esse evento tectônico.

Um segundo evento não está associado aos grandes ciclos tectônicos conhecidos no Pré-Cambriano, mas representa uma sucessão de reativações ocorridas ao longo dos 200 Ma que separaram as litologias dos Grupos Piracicaba e Sabará, ou seja, no Proterozóico inferior.

Essa sucessão de eventos teria em comum a direção dos esforços compressivos, que atuaram predominantemente na direção NW-SE, sendo provavelmente responsável pelo cavalgamento do Supergrupo Minas sobre as litologias mais antigas, edificando a Serra do Curral.

Nesses eventos predominou um regime *ductil/ruptil,* gerando dobramentos e falhamentos, esses últimos com direções muito próximas à do esforço principal.

Em conseqüência, originou-se uma estrutura monoclinal invertida para os metamorfitos do Supergrupo Minas, com direção NE-SW e mergulho muito variável para SE, geralmente inferior a 45°.

As fraturas e falhas nessas litologias não são muito numerosas, como mostram os gráficos da figura 3.3, todavia são muito concentradas no entorno da direção N30-50W.

No evento *Brasiliano,* ocorrido no final do Proterozóico, parece ter sido a mesma a direção dos principais esforços compressivos, pois o Grupo Sabará que teria se originado após a segunda etapa tectônica acima referida, guarda a mesma direção transversal à foliação desses metamorfitos, evidenciando tratar-se de fraturas tracionais. Também essa litologia não está muito fraturada, pelo menos em termos de grandes lineamentos (megafraturas), já que o filito geralmente apresenta fraturas de reduzida penetração e muito fechadas, como mostra a foto 3.8.

Já o quartzito presente no Grupo Piracicaba apresenta fraturas mais abertas, embora também pouco penetrativas (foto 3.6) e espaçadas, o que justifica o baixo número de megafraturas mapeadas (38).

3.2.3. Coberturas Inconsolidadas

No mapa geológico da figura 3.2, são indicados três tipos de depósitos cenozóicos que representam a cobertura inconsolidada alóctone sobre o embasamento rochoso. Esses depósitos, que nem sempre apresentam extensões mapeáveis na escala 1:100.000, são: aluviões, canga e depósitos de vertente.

As ***aluviões*** apresentam-se de duas formas: ao longo dos leitos e margens dos maiores cursos d'água e em bacias de inundação desses córregos e rios, nas áreas mais aplainadas. No primeiro caso, os depósitos são essencialmente arenosos, de textura variada em função da competência do curso d'água e geralmente não apresentam grandes espessuras. No segundo caso, esses materiais são predominantemente finos, com boa representação da fração argilosa e podem alcançar maiores espessuras, como já citado para o campus da UFMG, onde esses sedimentos atingem mais de 20 m de espessura.

A ***canga*** resulta da cimentação superficial de fragmentos de diversas origens pela precipitação do hidróxido de ferro. Os fragmentos geralmente incluem quartzito, filito, itabirito, quartzo e hematita.. Essas carapaças ferruginosas têm sua formação ligada à existência de um substrato rico em ferro (itabirito da Formação Cauê) e às oscilações do nível freático em função da alternância de estações secas e chuvosas. São muito freqüentes essas formações ao longo da encosta da Serra do Curral, como pode ser observado na figura 3.2.

Os depósitos de vertentes incluem os ***colúvios*** e os ***talus***. No domínio do Complexo Belo Horizonte são comuns as coberturas coluviais resultantes de erosão laminar nas encostas, que se interdigitam nas baixadas com sedimentos aluviais. São geralmente areno-argilosas e com coloração avermelhada. No domínio das seqüências metavulcânicas sedimentares, os colúvios encontram-se parcialmente lateritizados e incluem diversos materiais resultantes de fluxos torrenciais. Os talus são geralmente espessos e incluem blocos e matacões predominantemente de itabiritos, encontrando-se no sopé da Serra do Curral, muitas vezes recobertos por colúvios.

Finalmente, complementam as coberturas inconsolidadas os materiais autóctones resultantes da alteração *in situ* das rochas locais. São os ***elúvios*** que recobrem indistintamente as diferentes litologias, com características texturais e de coloração variáveis em função da rocha que lhe deu origem.

4. HIDROGEOLOGIA

4.1. ELEMENTOS UTILIZADOS NA PESQUISA

4.1.1. Dados Existentes

As informações hidrogeológicas existentes anteriormente à presente pesquisa incluem um cadastro de poços e resultados de análises físico-químicas de águas de alguns dos poços cadastrados.

Esses elementos estavam muito longe de exprimir a realidade, não apenas no ponto de vista quantitativo, mas principalmente qualitativo.

Existia um cadastro de poços na Companhia de Saneamento do Estado de Minas Gerais – COPASA – com mais de 300 poços perfurados há mais de 50 anos e dos quais não se dispunha, na grande maioria, de qualquer tipo de localização, seja por proprietário, endereço ou coordenadas. A maioria desses poços foi desativada com o atendimento da rede pública de água pela COPASA, pois muitos deles foram mal executados e quando apresentavam boas vazões não possuíam condições para introdução de bombas submersas pelo reduzido diâmetro de sua tubulação. Além disso, muitos desses poços apresentavam problemas de contaminação das mais variadas naturezas pela falta de cuidados na sua construção.

Entre os vários casos de poços abandonados e totalmente obstruídos, podem ser citados os existentes em cinco hospitais antigos e que, devido a este problema, alguns não puderam ter suas águas coletadas nos atuais estudos. Em alguns casos existem até obras construídas sobre os poços.

No trabalho executado através do convênio PBH/UFMG (Silva et al, 1994) foram aproveitados os únicos poços desse antigo cadastro que permitiam sua localização e que não estavam desativados, mas, ainda assim, foram listados apenas por coordenadas UTM com aproximação de 100 m, o que dificultou e até impediu a sua localização no presente estudo. Assim é que, dos 91 poços cadastrados por Silva et al, apenas 15 foram localizados no atual trabalho. Ainda assim, nenhum desses poços possui perfil litológico ou construtivo que possibilite avaliar as características da zona de cobertura inconsolidada.

Dos 91 poços cadastrados, apenas 39 possuíam análise físico-química de sua água e, ainda assim, executadas com critérios variáveis pelos diferentes laboratórios de Belo Horizonte, resultando na ausência de muitos elementos importantes em algumas dessas análises. Nenhuma análise bacteriológica, de hidrocarbonetos organoclorados ou mesmo metais tóxicos existia antes do atual estudo.

4.1.2. Elementos obtidos dos estudos realizados

Nos atuais estudos foram desenvolvidas as seguintes atividades visando melhorar o acervo de dados hidrogeológicos: atualização do cadastro de poços; análises laboratoriais; abertura de poços de monitoramento; e testes de condutividade hidráulica.

4.1.2.1. Atualização do Cadastro de Poços

A atualização do cadastro de poços foi baseada na pesquisa junto às empresas perfuradoras de poços, porém a maioria dessas empresas se negou a prestar informações sob a alegação de que os seus clientes impediam a divulgação desses dados com receio de um futura fiscalização do IGAM (Instituto de Gestão das Águas de Minas Gerais) ou da ANA (Agência Nacional da Água). Embora dentre as 22 empresas perfuradoras sediadas em Belo Horizonte, apenas 4 se dispuseram a prestar tais informações, estas representam, em conjunto, mais de 80% dos poços perfurados no município de Belo Horizonte.

Assim, o número de 91 do cadastro de Silva et al (1994) passou para 258 (acréscimode 283%), embora se estime que esse número deva atingir atualmente 300 poços em atividade. Esse número parece bastante reduzido, principalmente quando comparado com outras cidades brasileiras, como Recife, que possui mais de 6.000 poços, porém retrata a cômoda situação atual do atendimento público nessa cidade, que abastece com rede 100% desse município, na maior parte proveniente de captação superficial.

Apesar de reduzido quando comparado com outras capitais, esse contingente de poços representa uma importante parcela de contribuição para o abastecimento de água do município de Belo Horizonte, principalmente por constituir a principal fonte de recursos hídricos para o complexo industrial, além de ser a única fonte de abastecimento dos mais modernos condomínios residenciais dessa cidade. Deve-se ainda registrar, que a bateria de poços tubulares pertencente

à COPASA (Companhia de Abastecimento e Saneamento do Estado de Minas Gerais) e localizada na região sul desse município (proximidades da saída da cidade em direção ao Rio de Janeiro), contribui com o abastecimento de significativa parcela de habitantes da zona sul dessa cidade.

Deve, contudo, ser registrado que embora os novos poços cadastrados possuam perfis litológicos, não há qualquer caracterização da gênese do material inconsolidado de cobertura, sendo este classificado sempre como *solo.*

No mapa da figura 4.1, acham-se locados todos os poços tubulares constantes do novo cadastro de poços, cujas características acham-se relacionadas no anexo 2.1.

4.1.2.2. Análises Laboratoriais

Durante a atualização do cadastro de poços, foram coletadas amostras d'água para análises físico-químicas das águas subterrâneas captadas nesses poços.

Por outro lado, a pesquisa de indústrias e postos de gasolina revelou a existência de novos resultados, alguns dos quais através de poços de monitoramento ambiental para controle da contaminação.

Finalmente, foi efetuada uma campanha de coleta de amostras d'água nos poços que poderiam oferecer alguma informação relacionada com a contaminação dos aqüíferos, resultando em novas análises laboratoriais realizadas.

Em resumo, o acervo de análises existentes (39 análises físico-químicas) foi acrescido da forma que se segue:

Análises catalogadas:

- Físico-químicas: 85
- Bacteriológicas: 4
- BTEX: 32

Análises realizadas:

- Físico-químicas: 34
- Bacteriológicas: 3
- BTEX: 25

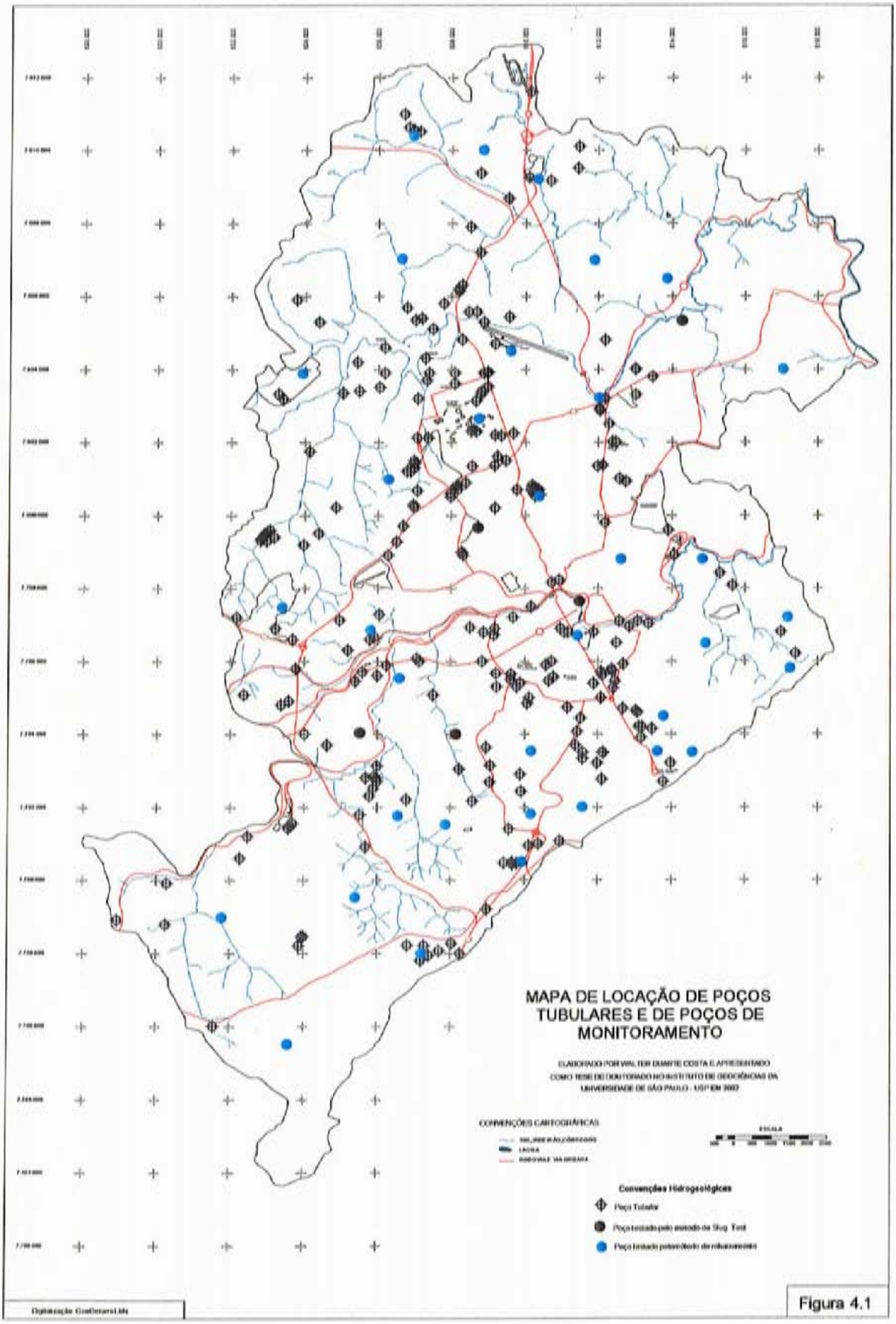

MAPA DE LOCAÇÃO DE POÇOS TUBULARES E DE POÇOS DE MONITORAMENTO
ELABORADO POR WALTER DUARTE COSTA E APRESENTADO COMO TESE DE DOUTORADO NO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP EM 2002
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS
ESCALA
Convenções Hidrogeológicas
Poço Tubular
Poço testado pelo método de Slug Test
Poço testado potencialmente de rebaixamento

Figura 4.1

No Anexo 3 estão relacionados todos os resultados das análises laboratoriais que embasaram o presente estudo.

4.1.2.3. Construção de poços de monitoramento

Foram construídos 5 (cinco) poços para monitoramento da água subterrânea, cuja finalidade e análise de seus resultados serão discutidos nos capítulos que se sucederão.

Esses poços foram abertos com trado mecânico (foto 4.1) ou com auxílio de uma sonda rotativa manual (foto 4.2), sendo a perfuração concluída 2 m abaixo do nível freático.

Os poços foram revestidos com tubo geomecânico de 2", sendo os 2,0 m finais constituídos por um tubo de PVC geomecânico ranhurado, conforme perfil mostrado na figura 4.2.

O último metro foi preenchido com solo compactado com um selo de bentonita, terminando por um selo de cimento que se estendeu em forma de placa nas dimensões de 0,50 x 0,50 m. Sobre essa placa foi construída uma caixa de alvenaria de tijolo, com tampa metálica, conforme mostrado na foto 4.3. Na boca do tubo foi colocada uma tampa de pressão provida de cadeado.

4.1.2.4. Testes de condutividade hidráulica

Nos poços de monitoramento acima referidos foram realizados testes de condutividade hidráulica pelo método de "slug test", cujos resultados serão discutidos mais adiante.

Além desses testes, foram realizados 35 testes de condutividade hidráulica do solo de cobertura acima do nível freático, pelo método de rebaixamento preconizado por Gilg & Gavard (1957) in Oliveira & Correia Filho (1981), conforme esquematizado na figura 4.2.

Para a realização desses testes, foram feitos furos a trado com 2,0 m de profundidade, sendo parcialmente revestidos por um tubo de PVC de 4", como mostrado na foto 4.4. Embora restrito a uma profundidade muito reduzida, esse teste teve a finalidade de perscrutar as possibilidades de ser o horizonte superficial do solo um veículo obstaculador ou favorável à infiltração das águas pluviais que irão percolar na zona insaturada para promover a recarga dos aqüíferos.

FOTO 4.1 - Abertura de poço de monitoramento no Cemitério da Paz utilizando um trado mecânico

FOTO 4.2 - Abertura de poço de monitoramento em um antigo lixão, utilizando uma sonda rotativa portátil.

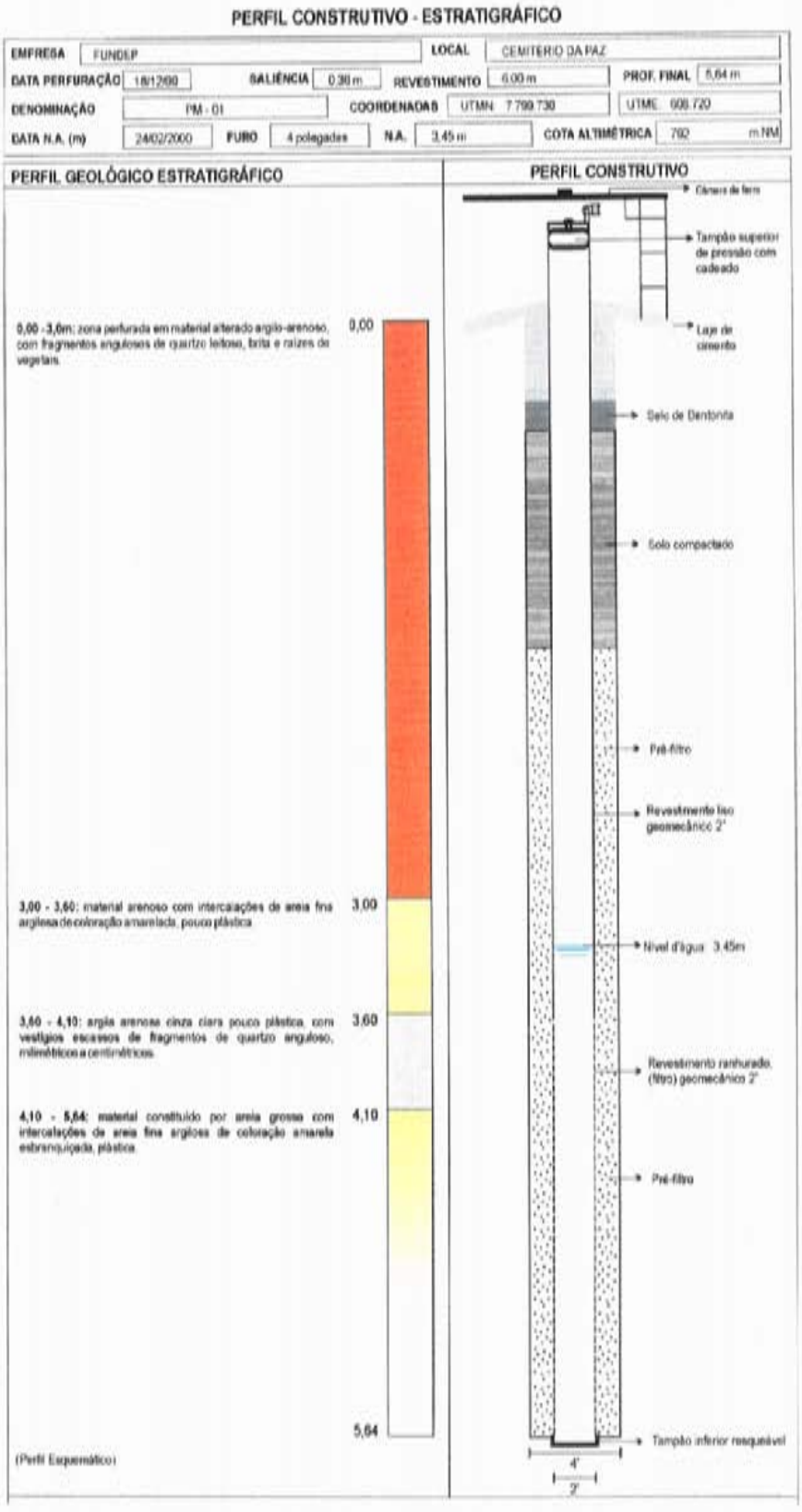


FIGURA 4.2
POÇO DE MONITORAMENTO

FOTO 4.3 - Execução do teste de condutividade hidráulica em um poço de monitoramento utilizando o método de recuperação ("slug test"). A caçamba vista fora do poço é utilizada no rebaixamento do nível d'água para posterior medição de sua recuperação.

FOTO 4.4 - Teste de condutividade pelo método de rebaixamento em um poço aberto com trado, onde é medido o rebaixamento do nível da água no interior do tubo de revestimento.

No anexo 2.2. são relacionados todos os resultados dos dois tipos de teste para a determinação da condutividade hidráulica e na figura 4.1 acham-se locados em mapa não apenas os poços de monitoramento (indicados por ST), mas também os furos a trado (indicados por TR) em que foram executados os testes de rebaixamento.

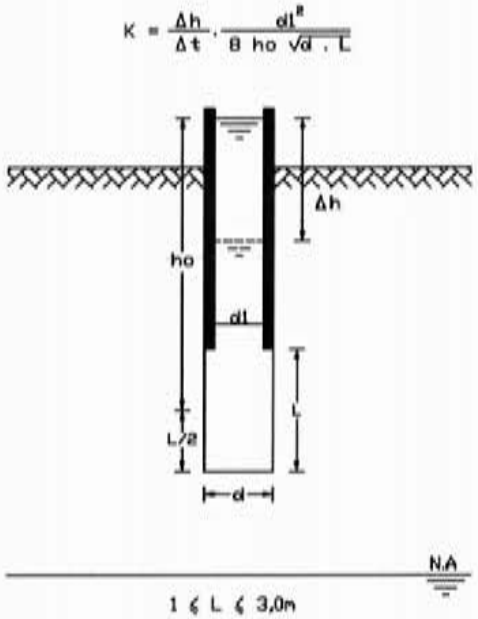


FIGURA 4.3
ENSAIO DE REBAIXAMENTO
MÉTODO DE GILG & GAVARD

4.2. MODELO HIDROGEOLÓGICO

O município de Belo Horizonte é constituído hidrogeologicamente por dois sistemas aqüíferos, embora intimamente conectados. São os aqüíferos de permeabilidade *granular* e *fissural*, que apresentam um sistema integrado do tipo livre.

4.2.1. O aqüífero granular

Esse aqüífero corresponde ao material inconsolidado e incoerente que representa a cobertura das rochas locais. Inclui o material autóctone – solo residual – e os materiais alóctones como alúvio, colúvio, talus e coberturas detríticas lateritizadas.

Na presente análise esse material será tratado genericamente por *cobertura inconsolidada*, pois são raros os poços tubulares que apresentam uma identificação de sua gênese. A caracterização desse material deve levar em consideração a variação de sua espessura e a sua diversidade faciológica e, conseqüentemente, textural.

a) Espessura da cobertura

A espessura desse material é muito variável em todo o município, como conseqüência das condições topográficas e geológicas locais, podendo estar praticamente ausente nas áreas em que a rocha aflora, até atingir espessuras da ordem de 100 m.

No mapa da figura 4.4 essa variação pode ser bem observada, havendo duas regiões em que essa espessura assume valores mais elevados: região da Pampulha e encosta da Serra do Curral.

Na primeira região, essa cobertura inclui solo residual e uma cobertura aluvionar, que foi caracterizada em alguns poços do Campus da UFMG como superiores a 20 m. Na encosta da Serra do Curral, essa espessura é devida à mistura de colúvios com elúvios de calcários e itabiritos.

Observa-se ainda nesse mapa que, em geral, as menores espessuras da cobertura residem na região leste do município, até mesmo ao longo da Serra do Curral, o que pode ser conseqüência da escassez de dados nessas regiões, conforme se nota no mapa da figura 4.1, embora ocorram na região NE várias áreas em que a rocha aflora sem qualquer cobertura.

Por outro lado, como o mapa de cobertura resultou do tratamento de dados obtidos nos poços tubulares, não é possível identificar as inúmeras manchas de solo delgado a inexistente que capeiam os morros onde se instalam as pedreiras, pois, em princípio, constituem tais locais contra-indicações para captação de água subterrânea e essas situações são muito freqüentes na região NE do município, o que vem corroborar as reduzidas espessuras da cobertura indicadas no mapa da figura 4.4 para essa área do município.

Com relação às diversas litologias, a espessura da cobertura varia pouco, como mostra o gráfico da figura 4.5, porém essas relações dependem muito da amostragem, que variou significantemente nessas litologias.

Assim, nas litologias mais amostradas, a média de espessura da cobertura foi muito semelhante – 35,24 m no Complexo Belo Horizonte e 36,50 m no Grupo Sabará – embora a espessura máxima

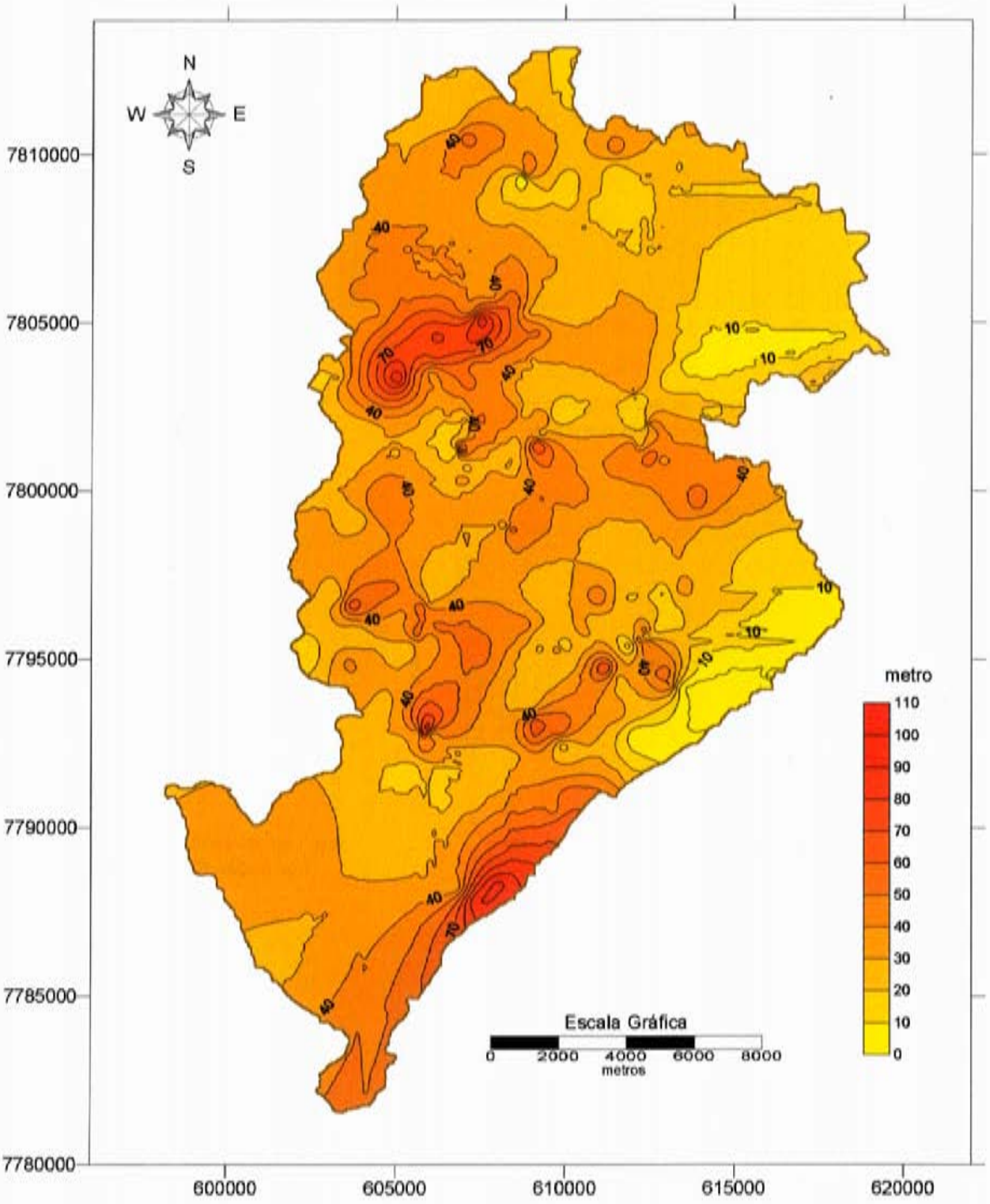


FIGURA 4.4
ESPESSURA DA COBERTURA

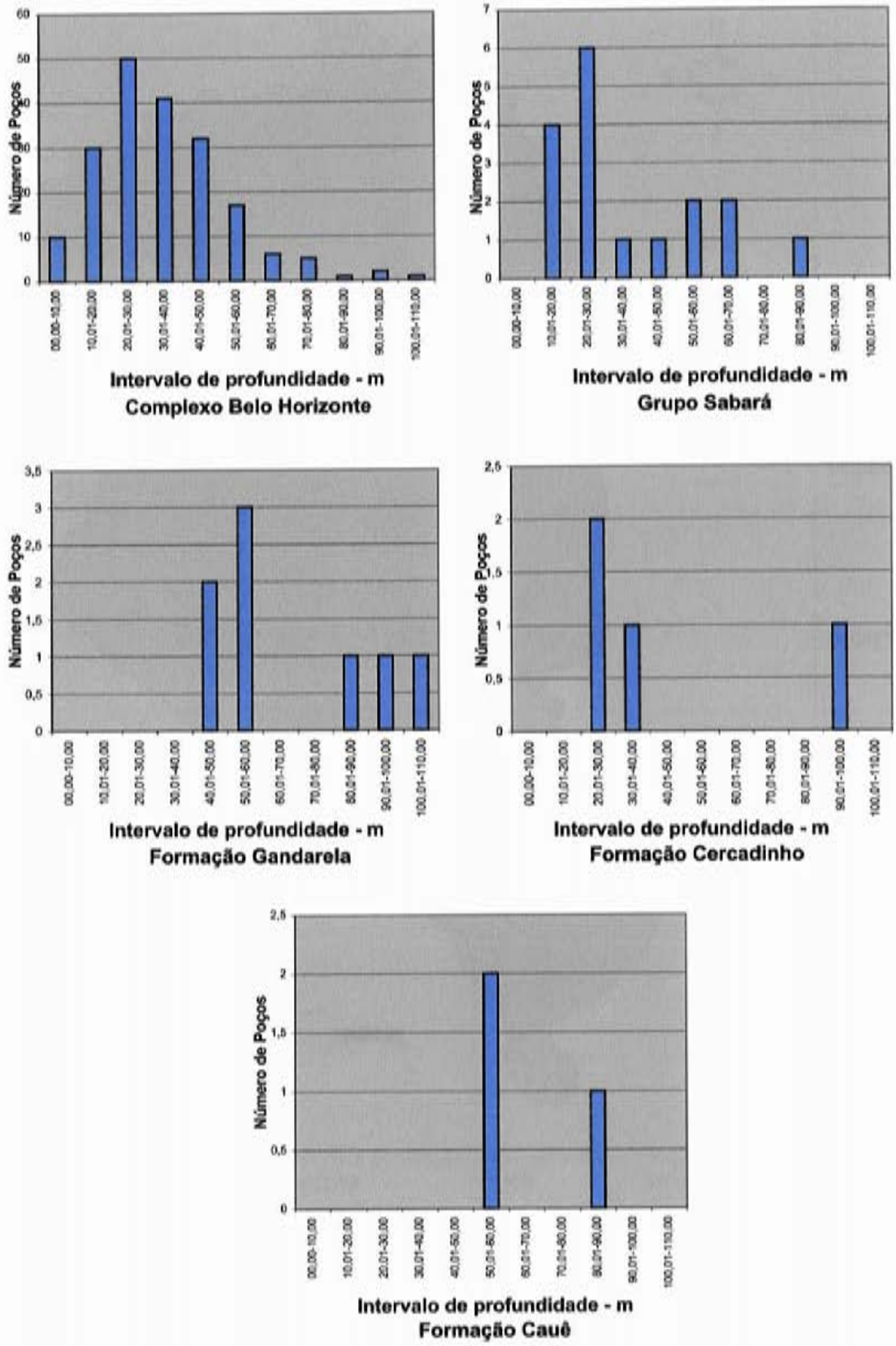


FIGURA 4.5 - VARIAÇÃO DA COBERTURA COM A LITOLOGIA

no primeiro chegue a 101,00 m (poço 161), enquanto no segundo essa máxima é de 80 m (poço 177).

Nas litologias menos representadas nos poços existentes, existem aquelas em que a espessura média elevada é conseqüência da maior facilidade de decomposição da rocha, como a Formação Gandarela, que apresenta média e máxima de respectivamente 68,66 m e 106,00 m, e aquelas em que essa espessura é devida à presença de colúvios, como as formações Cercadinho e Cauê, com espessura média de 48,00 m e 40,20 m respectivamente e espessura máxima de 98,00 m em ambos os casos. Um exemplo típico dessa última situação pode ser constatado no poço nº 183, onde 98 m de argila plástica de coloração castanha escura se encontram acobertando um quartzito da Formação Cercadinho, mostrando uma descomunal espessura de colúvio, possivelmente associado a antigos escorregamentos ocorridos nessa encosta da serra do Curral.

Em termos gerais, a espessura média da cobertura inconsolidada em todo o município de Belo Horizonte é de 36,50 m.

b) Diversidade Faciológica

Nenhum dos vários tipos de materiais que compõem a cobertura inconsolidada pode ser considerado homogêneo. Os solos residuais ainda são os menos heterogêneos, pois a textura não varia significantemente ao longo do perfil do solo, principalmente no latossolo. Todavia, pode variar bastante no sentido lateral, em função da composição mineralógica da rocha que lhe deu origem, resultando em solos com textura predominantemente arenosa ou argilosa.

As aluviões variam muito de textura em função de seu ponto de deposição com relação ao fluxo principal do rio, sendo constatadas sucessivas associações de textura arenosa e argilosa nos poços perfurados no campus da UFMG, como conseqüência da variação de fácies ocorrida nessa sedimentação.

São contudo os talus e colúvios que apresentam maior variação granulométrica, tanto no sentido vertical como no sentido horizontal, já que incluem materiais transportados por gravidade com dimensões muito variadas.

Com relação à litologia que originou os materiais autóctones, há uma marcante interdependência. Pode-se, assim, considerar como solos mais argilosos os provenientes dos filitos e dos calcários; solos areno-argilosos os provenientes dos gnaisses e migmatitos do Complexo Belo Horizonte; e finalmente, mais arenosos os provenientes dos quartzitos.

Embora os testes de condutividade hidráulica tenham contemplado na maior parte (testes de rebaixamento) apenas os 2,0 m mais superiores desses solos, pode-se ratificar a assertiva acima exposta sobre a relação da textura desses solos com a rocha que lhe originou, através dos dados de permeabilidade média a seguir relacionados:

Formação Gandarela (dolomitos e filitos):	$K = 4{,}2 \times 10^{-5}$ cm/s
Grupo Sabará (filitos)	$K = 6{,}3 \times 10^{-5}$ cm/s
Compl. Belo Horizonte (gnaisses e migmatitos):	$K = 1{,}1 \times 10^{-4}$ cm/s
Formação Cercadinho (quartzitos):	$K = 6{,}0 \times 10^{-4}$ cm/s

Do exposto nos itens precedentes, pode-se constatar que é muito variado o comportamento do manto de cobertura como aqüífero, e nem sempre as maiores espessuras correspondem às melhores potencialidades hidrogeológicas, pois a textura do material pode dificultar significantemente a liberação das águas aí armazenadas quando captadas por um poço, como também, dificultar a alimentação do aqüífero fissural sotoposto, pôr drenança vertical.

4.2.2. O Aqüífero Fissural

O aqüífero fissural corresponde ao meio em que a percolação da água se restringe às descontinuidades geológicas do maciço rochoso, principalmente representadas por fissuras, já que ao longo da rocha intacta a permeabilidade intersticial é praticamente nula.

Como aqüífero fissural será considerado o conjunto representado pela rocha sã e pelo seu saprolito, onde as estruturas se encontram preservadas e comandando o fluxo das águas subterrâneas, ao contrário do que ocorre no solo de cobertura.

Esse aqüífero, independentemente da rocha que o compõe e da natureza do solo que o recobre, encontra-se intercomunicado com o aqüífero granular que lhe sobrepõe, sendo por ele alimentado e para ele contribuindo com uma parcela da evapotranspiração quando o solo é inferior a 5 m.

Em nenhum poço cadastrado nesse município foi constatado artesianismo, pelo que, em conjunto, os dois tipos de aqüíferos existentes podem ser indiscutivelmente considerados como ***livres.***

Quando a zona saturada se encontra abaixo da cobertura de solo, o topo do aqüífero será definido pela ligação dos pontos que definem a saturação das fraturas existentes. Nessas condições, é

possível que um poço iniciado em uma zona sem fraturas tenha o nível da água que penetrou no poço, ao interceptar uma fratura saturada, ascendido pelo princípio dos vasos comunicantes até atingir a cota correspondente ao supra referido topo do aqüífero, o que pode levar alguns desavisados a considerar este fenômeno como artesianismo e classificar o aqüífero erradamente como confinado. Esse mesmo erro pode ser conseqüência da aplicação de técnicas específicas para aqüíferos granulares na determinação de parâmetros hidrodinâmicos em aqüíferos fissurais, resultando na interpretação errônea de que o aqüífero é confinado por apresentar um coeficiente de restituição (considerado como coeficiente de armazenamento) muito baixo.

Sendo o fraturamento o principal plano de descontinuidade de um maciço rochoso, o aqüífero fissural que caracteriza esses maciços tem sua potencialidade relacionada com os seguintes fatores estruturais:

- abertura e persistência das fraturas
- espaçamento entre fraturas de um mesmo sistema
- intercomunicabilidade entre diferentes sistemas de fraturas

Essas características estruturais dependem, por sua vez, dos seguintes aspectos:

- intensidade dos esforços tectônicos
- competência da rocha à deformação
- tipo de deformação predominante (dúctil ou rúptil)

Na descrição das estruturas tectônicas presentes nas litologias desse município, ficou evidenciada uma concordância entre os maiores esforços compressivos desenvolvidos durante os principais eventos que deformaram tanto o complexo rochoso arqueano (Complexo Belo Horizonte), quanto as seqüências metavulcânicas sedimentares do Proterozóico.

Esses esforços desenvolveram fraturas tracionais em todas as litologias no entorno da direção NW-SE, como mostram os gráficos da figura 3.3.

É, pois, nessa direção que residem os caminhos preferenciais da água subterrânea no aqüífero fissural dessa região, embora cada litologia apresente um comportamento diferenciado em termos de fluxo subterrâneo em função de suas especificidades relacionadas com o tipo de deformação mais característico, como conseqüência de sua competência.

Essas diferenças influem decisivamente na potencialidade de cada litologia quando considerada como aqüífero isolado, como será discutido no item 4.4.

4.3. MECANISMO DE FLUXO

O fluxo das águas pluviais infiltradas no solo constitui parte do mecanismo que integra todo o ciclo hidrológico.

Das águas precipitadas, parte é interceptada pelos obstáculos superficiais impostos pela folhagem das árvores e áreas construídas, retornando à atmosfera através da evaporação: parte escoa superficialmente indo alimentar os corpos hídricos superficiais: e, finalmente, parte é infiltrada no solo. Dessa última parcela, parte é escoada subsuperficialmente no sentido paralelo à declividade do terreno, parte retorna à atmosfera através da evapotranspiração das plantas e, finalmente, uma última parte é infiltrada no solo.

Ao longo da zona insaturada, ou zona vadosa, o fluxo dessa última parcela obedece às leis da gravidade, escoando sempre no sentido vertical. Ao atingir o topo do freático, o fluxo obedece às leis hidrodinâmicas que regem o escoamento das águas subterrâneas, onde o gradiente hidráulico é imposto a partir das áreas de maior carga hidráulica para as áreas de menor carga, ou, em outras palavras, das áreas de recarga (mais elevadas) para as áreas de descarga do aqüífero (zonas de baixadas e talvegues dos cursos d'água superficiais).

Nesse sentido, há uma certa congruência entre tal fluxo e aquele constituído pelas águas superficiais, já que ambos acabam possuindo o mesmo nível de base, pois os principais rios são alimentados nas épocas de chuva pelos escoamentos superficiais e na época de estiagem pela descarga de base propiciada pelo fluxo das águas subterrâneas.

Conforme já referido, toda a drenagem superficial no município de Belo Horizonte se dirige para o Rio das Velhas que passa em parte de seu limite leste, embora esse escoamento esteja agrupado em duas sub-bacias hidrográficas: Rio Arrudas e Ribeirão do Onça.

O fluxo das águas subterrâneas não é diferente, como pode ser observado no Mapa Potenciométrico da figura 4.6. Nesse mapa, as isolíneas de valores inferiores a 760 m foram inferidas por falta de informações na extremidade NE desse município.

Observa-se nesse mapa que as principais áreas de recarga correspondem à Serra do Curral e a todo o limite oeste do município, sendo o fluxo, em geral, direcionado no sentido do limite leste desse município, onde passa o Rio das Velhas.

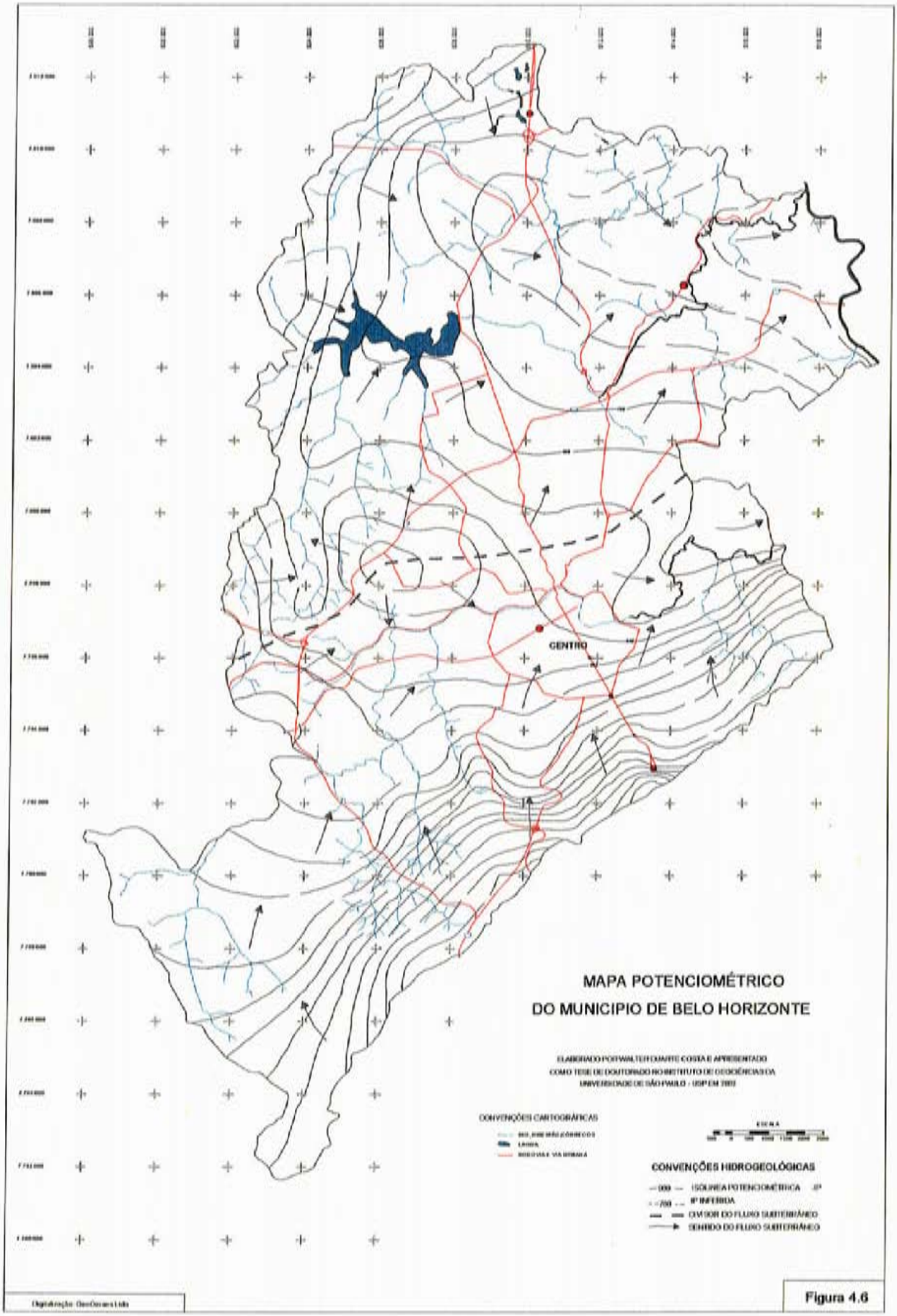

CENTRO
MAPA POTENCIOMÉTRICO
DO MUNICIPIO DE BELO HORIZONTE
ELABORADO POR WALTER DUARTE COSTA E APRESENTADO
COMO TESE DE DOUTORADO NO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP EM 2001
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS
ESCALA
CONVENÇÕES HIDROGEOLÓGICAS
ISOLINHA POTENCIOMÉTRICA
Nº INFERIDA
DIVISOR DO FLUXO SUBTERRÂNEO
SENTIDO DO FLUXO SUBTERRÂNEO
Digitalização: GeoDomus Ltda

Figura 4.6

É, todavia, digno de registro um nítido divisor de fluxo subterrâneo que corresponde, aproximadamente, ao interflúvio entre as drenagens superficiais do Rio Arrudas e do Ribeirão do Onça.

A partir desse divisor, as águas subterrâneas se dirigem para os exutórios representados pelos principais cursos d'água dessas duas bacias, embora mantendo sempre uma componente de fluxo na direção leste no sentido do Rio das Velhas.

O fluxo subterrâneo tem pois, como primeiro nível de base, os talvegues das drenagens que comandam as duas sub-bacias e, secundariamente, o nível estabelecido para a região pelo Rio das Velhas que passa nas proximidades do limite leste desse município.

Os gradientes hidráulicos desse fluxo é que são bastante diferentes, não apenas entre as diferentes áreas de recarga, mas, como era de se esperar, entre tais áreas e a proximidade das áreas de descarga.

Assim, enquanto na área de recarga esse gradiente varia desde 0,100 na Serra do Curral até 0,030 no limite oeste, chega apenas a 0,015 nas proximidades do Rio das Velhas

Esse mapa não deixa dúvidas de que os aqüíferos representados pelo Complexo Belo Horizonte e pelas rochas metavulcano-sedimentares que cavalgaram sobre as primeiras são totalmente intercomunicados, com fluxo congruente determinado pelas áreas de recarga acima definidas e tendo em comum os mesmos exutórios.

Essa conclusão contraria a hipótese de Silva et al (1994) que considera o aqüífero formado pelas rochas metavulcano-sedimentares totalmente independente daquele formado pelas rochas arqueanas, inclusive com fluxo no sentido contrário, ou seja, no sentido de SE em função da atitude de seus planos de acamamento que mergulham nessa direção. Também esse trabalho considera o aqüífero das rochas metavulcano-sedimentares como confinado, o que não encontrou respaldo técnico na atual pesquisa hidrogeológica, conforme já referido anteriormente.

4.4. CARACTERÍSTICAS DOS AQÜÍFEROS

Conforme explicitado no item anterior, todos os aquíferos na área pesquisada são do tipo LIVRE, ou seja, possuem fluxos sujeitos à resultante das forças gravitacionais e das forças de

percolação, que dependem do gradiente hidráulico criado com a diferença de carga hidráulica reinante nesses meios.

Nesses aqüíferos, a superfície freática corresponde ao plano em que dominam as pressões atmosféricas, segundo conceito de Custodio & Llamas (1976), independentemente da profundidade em que se encontre.

Embora as diferentes litologias presentes na área estudada constituam aqüíferos livres intercomunicados, como mostra o mapa potenciométrico da figura 4.6, cada litologia apresenta características próprias de potencialidade que dependem de suas especificidades estruturais.

A falta de dados de transmissibilidade para caracterizar esses aqüíferos não tem muita importância em se tratando de aqüíferos fissurais, onde a conceituação desse parâmetro perde muito do seu significado, já que o fluxo das águas subterrâneas nesses aqüíferos é extremamente heterogêneo e restrito aos planos de descontinuidade, principalmente fraturas.

Por outro lado, a capacidade específica nesse tipo de aqüífero pode dar uma idéia da maior ou menor facilidade de percolação ao longo dessas fraturas, em função, principalmente, de sua abertura, espaçamento e intercomunicabilidade.

4.4.1. Complexo Belo Horizonte

Essa unidade litoestratigráfica, que ocupa 70% da área do município de Belo Horizonte, é constituída por rochas gnáissicas e migmatíticas parcialmente milonitizadas. Essas rochas são extremamente competentes e resistentes à compressão, daí porque se deformam geralmente no regime rúptil. São rochas que apresentam, em geral, fraturas relativamente abertas e penetrativas, porém muito espaçadas entre si. Essa última característica termina por comprometer a intercomunicação dos diferentes sistemas de fraturas mostradas na figura 3.3.

Em conseqüência de tais características, é baixa a capacidade específica dessas litologias, apresentando como média, em 193 poços analisados, o valor de 0,071 L/s.m, sendo os valores extremos registrados de 0,002 L/s.m e 0,500 L/s.m para mínimo e máximo respectivamente. É porém muito grande a concentração de poços no intervalo 0,001-0,050 L/s.m, como mostrado na figura 4.7.

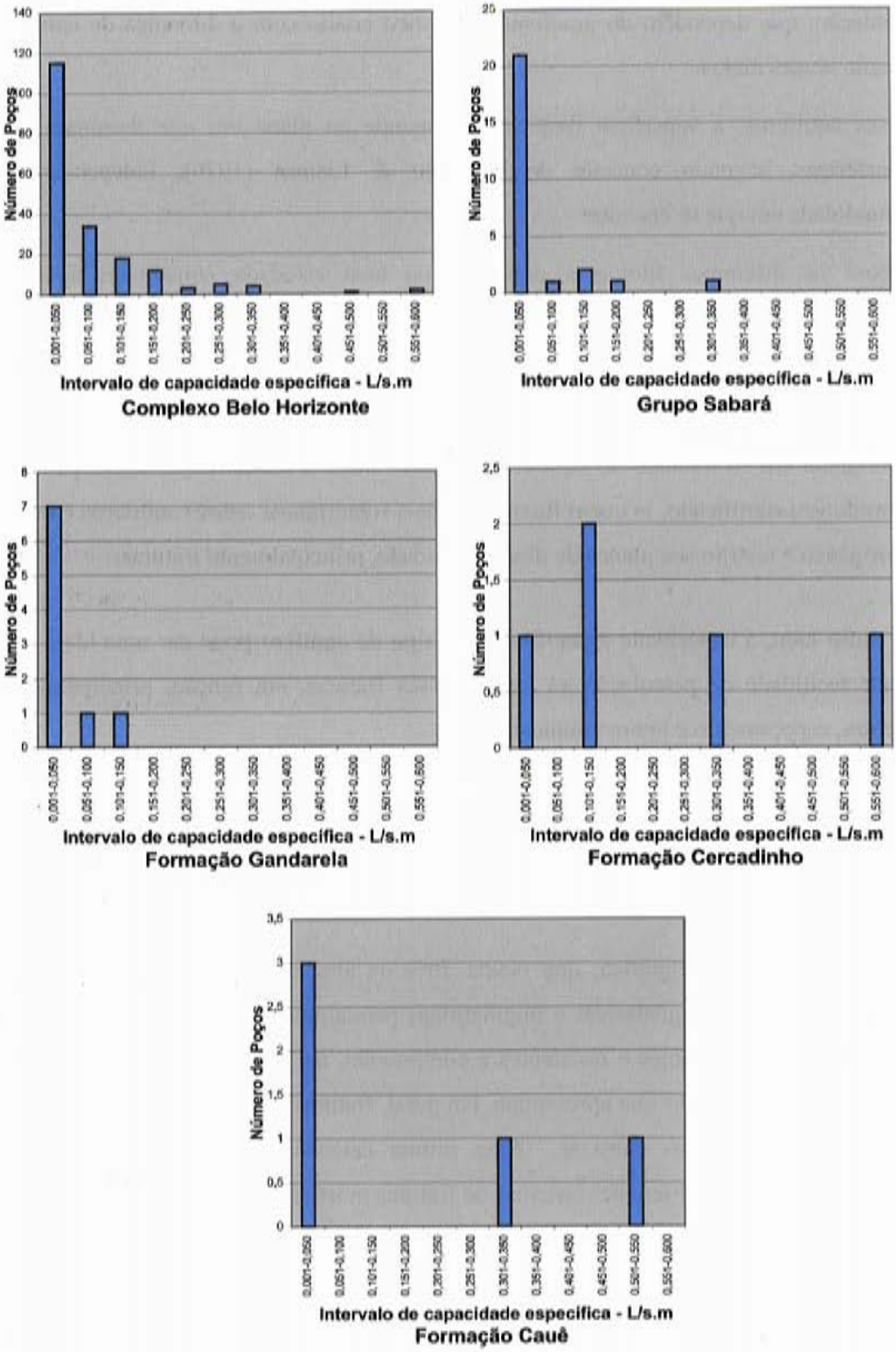


FIGURA 4.7 - VARIAÇÃO DA CAPACIDADE ESPECÍFICA COM A LITOLOGIA

O mapa da figura 4.8 mostra a distribuição espacial da capacidade específica em todo o município, podendo-se observar que são muito localizados os pontos de capacidade específica mais significativa (acima de 0,200 L/s.m).

Por outro lado, a aleatoriedade na distribuição desses pontos impede que se faça qualquer relacionamento entre os mesmos e eventuais direções ligadas às estruturas geológicas, indicando tratar-se de puras anomalias hidrogeológicas que soem ocorrer em aquíferos fissurais e cársticos, como nos pontos situados na região sul desse mapa, em que o aumento da capacidade específica está relacionado com dissolução do calcário Gandarela, conforme será explicado mais adiante.

Esses valores ratificam as más qualidades desse aqüífero, porém são muito mais baixos do que normalmente se pode esperar para essas litologias.

Com efeito, a capacidade específica média encontrada em 511 poços abertos em gnaisses nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte foi de 0,155 L/s.m e em 803 poços nessa litologia em todo o estado de Minas Gerais foi de 0,210 L/s.m (Costa, 1995), ou seja, respectivamente duas e três vezes maior que a encontrada para o município de Belo Horizonte.

Ressalte-se que as características climáticas do nordeste são muito mais adversas que as de Belo Horizonte em termos de recarga para os aqüíferos.

A explicação para tal diferença reside no critério de locação dos poços, pois, na maioria, os poços abertos na zona rural (que compõem a maior parte dos trabalhos acima citados) são abertos com critério técnico, buscando-se interceptar fraturas abertas alimentadas por cursos d'água superficiais. Na zona urbana, como no caso presentemente estudado, o critério é apenas logístico, pois o proprietário do poço dispõe geralmente de uma reduzida área que não lhe permite qualquer escolha sob o ponto de vista técnico para locar o poço.

Entre as várias opções de fraturas indicadas no gráfico da figura 3.3, as que possibilitam um melhor aproveitamento do potencial hidrogeológico desse aqüífero fissural são as localizadas no entorno da direção NW-SE, por serem tracionais e, portanto, mais abertas. Interceptar uma dessas fraturas na reduzida área que geralmente dispõe o proprietário de um poço é pura casualidade, principalmente porque, conforme já referido acima, é grande o espaçamento entre as fraturas nessa rocha (foto 3.1).

Assim, a maioria dos poços perfurados nesse aqüífero intercepta fraturas secundárias e muitas vezes de cisalhamento, com abertura muito reduzida, o que explica a baixa capacidade específica revelada por esse aqüífero.

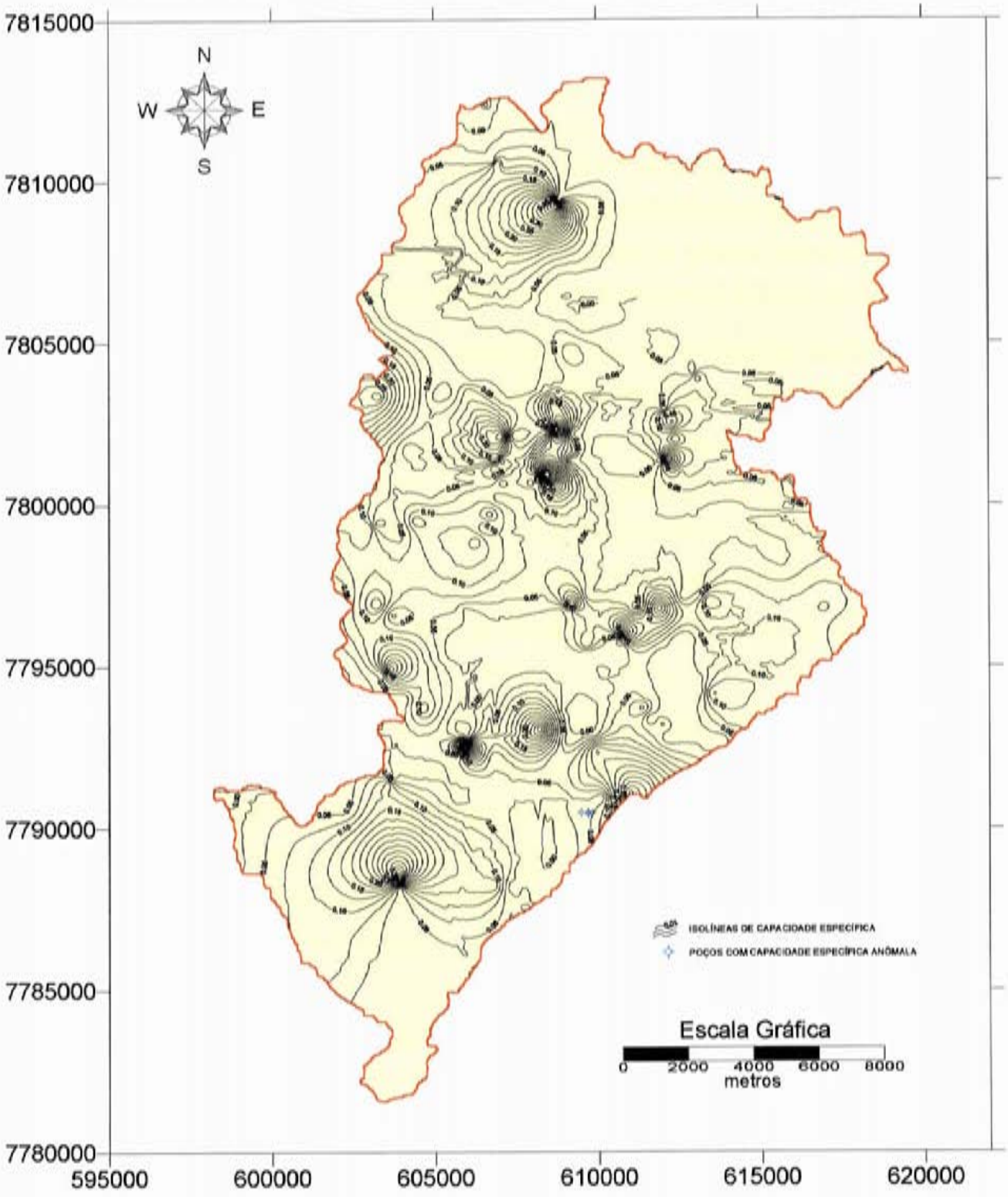


FIGURA 4.8
MAPA DE CAPACIDADE ESPECÍFICA

Ressaltamos, assim, que os valores encontrados não refletem a real capacidade desse tipo de aqüífero.

4.4.2. Grupo Sabará

Essa unidade ocupa 18% da extensão total do município estudado, sendo constituída por filitos e xistos. Tratam-se de rochas incompetentes, pouco resistentes à compressão e que se deformam no regime dúctil-rúptil. Em conseqüência, essas rochas geralmente apresentam fraturas pouco abertas e pouco penetrativas, embora com reduzido espaçamento.

Quando apresentam inúmeros sistemas de fraturas, existe uma boa intercomunicação entre esses sistemas, porém no presente caso isso não ocorre, pois o gráfico da figura 3.3 mostra que domina inteiramente a direção entre N30-40W para o fraturamento dessas litologias, que correspondem ao fraturamento de tração, sendo insignificante a distribuição nas demais direções, onde se destaca um pouco a faixa entre N40-80E, relacionada com a foliação dessas rochas, que são planos quase fechados.

Como resultado dessa configuração estrutural, a capacidade específica média desse aqüífero, revelada em 26 poços aí perfurados, foi de 0,045 L/s.m, com valores mínimo e máximo de respectivamente 0,003 L/s.m e 0,327 L/s.m. A exemplo do Complexo Belo Horizonte, é muito grande a concentração de poços no intervalo 0,001-0,050 L/s.m, como mostra o gráfico da figura 4.7.

Embora essas rochas constituam um mau aqüífero fissural, pelas suas características de deformação acima referidas, esses números não espelham a sua real potencialidade, pois nos trabalhos acima referidos, a média da capacidade específica de 136 poços perfurados nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte nessas litologias foi de 0,129 L/s.m (2,86 superiores aos de Belo Horizonte) e em 185 poços no estado de Minas Gerais essa média foi de 0,260 L/s.m (5,7 vezes a média de Belo Horizonte).

O motivo dessa diferença é o mesmo já explicado no caso anterior.

Ainda assim, discordamos da opinião de Silva (Silva et al, 1994) que considera essa litologia como um aqüitardo ao invés de aqüífero, pois sua capacidade específica média corresponde a 63% da capacidade específica média do Complexo Belo Horizonte, considerado como aqüífero por aquele autor.

4.4.3. Grupo Piracicaba

Embora ocupando apenas 4% da área do município de Belo Horizonte, essa unidade agrupa 4 formações geológicas que incluem apenas duas litologias diferentes.

A Formação Cercadinho, constituída por quartzitos, é a que foi mais explotada, embora com apenas 6 poços. A Formação Fecho do Funil, formada por filitos, possui apenas 2 poços, e o conjunto das formações Taboões (quartzito) e Barreiro (filito) possui apenas um poço perfurado.

Os ***quartzitos*** são rochas medianamente competentes e também com média resistência à compressão, deformando-se tanto no regime dúctil como no rúptil. As fraturas são abertas, pouco penetrativas e pouco espaçadas, como mostrado na foto 3.6.

Nessa foto são vistas fraturas de tração e de cisalhamento, porém todas contidas no intervalo N10-60W, como mostrado no diagrama da figura 3.3 (Formação Cercadinho).

Ratificando as melhores características de percolação de água, essa rocha apresentou uma média para a capacidade específica de 0,203 L/s.m, com valores mínimo e máximo de, respectivamente, 0,006 L/s.m e 0,555 L/s.m. Embora com uma amostragem pouco significativa, nota-se no gráfico da figura 4.7 uma maior dispersão dos resultados, ao contrários das demais litologias.

Essa grande dispersão em apenas 6 poços mostra a variedade de condições representadas pela locação desses poços em relação às fraturas dessa litologia.

Ainda assim, essa média não está muito diferente das obtidas nos trabalhos já referidos, que acusaram as médias de 0,143 L/s.m para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, e 0,350 L/s.m para o Estado de Minas Gerais.

Os ***filitos,*** da Formação Fecho do Funil, apresentaram as mesmas características já referidas para essas litologias do Grupo Sabará, inclusive com a mesma média de capacidade específica (0,045 L/s.m para dois poços).

4.4.4. Grupo Itabira

Esse grupo inclui apenas duas formações – Cauê e Gandarela – e ocupa a faixa limítrofe a SE do município de Belo Horizonte, com apenas 8% da extensão total desse município.

A ***Formação Cauê*** é formada por itabiritos e filitos hematíticos. Essa variação litológica implica em um comportamento muito variado na deformação dessas rochas, com a presença de fraturas e dobras, evidenciando um regime dúctil-rúptil (fotos 3.3 e 3.4). As fraturas são abertas, pouco penetrativas e pouco espaçadas, conferindo a essas litologias uma condição regular para o fluxo das águas subterrâneas.

No presente caso o que pesa desfavoravelmente em sua potencialidade hidrogeológica é a sua posição geográfica, pois, situando-se no topo da Serra do Curral, corresponde ao início da zona de recarga, sendo assim limitada a realimentação desse aqüífero.

As suas características hidrodinâmicas são, contudo, muito semelhantes às do quartzito Cercadinho, com uma capacidade específica média de 0182 L/s.m em 5 poços, variando desde 0,006 L/s.m até 0,520 L/s.m, o que reflete a variação de condições em que os poços foram locados.

A ***Formação Gandarela*** ocupa uma área bem mais significativa no Grupo Itabira, como pode ser observado no mapa geológico da figura 3.2. Inclui dolomitos e filitos dolomíticos, que são rochas competentes a incompetentes, deformando-se no regime dúctil-rúptil. As fraturas são pouco abertas, pouco penetrativas, mas podem apresentar uma boa intercomunicação.

No presente caso essa comunicação é prejudicada, pois as fraturas são quase paralelas, como mostrado no gráfico do Grupo Itabira da figura 3.3.

Assim, as perspectivas teóricas para a potencialidade hidrogeológica dessas litologias são as piores possíveis.

Ocorre que os dolomitos apresentam uma certa facilidade para dissolução ao longo dos planos de fraturas, aumentando a sua abertura até o limite da formação de pequenas cavernas, o que representa anomalias hidrogeológicas imprevisíveis e de resultados surpreendentes em termos de potencialidade.

No município de Belo Horizonte foram abertos 13 (treze) poços nessa formação, resultando em dados totalmente conflitantes. Desses poços, 9 atingiram a situação normal esperada teoricamente para essas litologias, acusando uma capacidade específica média de apenas 0,039 L/s.m e variando desde 0,004 L/s.m até 0,143 L/s.m.

Os outros 4 (quatro) poços foram perfurados pela COPASA para reforço do abastecimento d'água do município, e foram todos localizados em uma mesma área, nas proximidades do BHShoping, na saída dessa cidade em direção ao Rio de Janeiro. Esses poços atingiram

provavelmente uma área do dolomito com acentuada dissolução cárstica, resultando em uma capacidade específica média de 11,074 L/s.m, com valores variando entre 1,518 L/s.m e 24,176 L/s.m. Esses dados são coerentes com os obtidos para o calcário Bambuí, que apresenta uma capacidade específica média em todo o Estado de Minas Gerais de 5,430 L/s.m em 369 poços perfurados (Costa, 1994).

4.5. BALANÇO HÍDRICO E POSSIBILIDADES DE EXPLOTAÇÃO

Apesar de ser baixa, em geral, a capacidade específica de todos os aqüíferos que funcionam interconectados lateralmente no município estudado, revelando uma baixa potencialidade hidrogeológica desses aqüíferos como um todo, os resultados obtidos para a sua captação poderiam ser melhores do que aqueles cadastrados, se houvesse a possibilidade de localizar esses poços segundo critérios técnicos de acordo com os preceitos da hidrogeologia dos aqüíferos fissurais, conforme já discutido anteriormente.

Um outro fator que pesa nesses resultados é a construção do poço, que nem sempre atende aos requisitos técnicos essenciais à captação máxima oferecida pelo aqüífero perfurado. Nesse sentido, é possível que a metodologia utilizada pela COPASA, com perfuração em grande diâmetro (mais de 20") e cuidados na proteção das zonas produtoras tenha colaborado também com a elevada capacidade específica dos 4 poços perfurados na Formação Gandarela.

Considerando, todavia, os critérios que foram e que continuarão a ser adotados para a locação e perfuração de poços tubulares nesse município, pode-se fazer uma análise sobre as possibilidades de explotação de água subterrânea a curto e longo prazo nesse município.

O Quadro 4.1. apresenta um resumo das vazões totais por aqüífero, referentes àqueles poços constantes do cadastro apresentado no Anexo 2.1, nos quais consta o valor da vazão.

Nesse quadro é feito um cálculo anual para essas vazões, considerando como médio o regime de 8 horas de explotação diária.

Por tais valores, o consumo médio anual seria da ordem de 6 milhões de metros cúbicos.

Pelo balanço hídrico apresentado no item 2.1.3., o volume médio infiltrado anualmente seria de 11.239.250 m^3, ou seja, quase 2 vezes o consumo esperado para os poços existentes.

QUADRO 4.1 - VAZÕES DOS POÇOS PERFURADOS POR AQÜÍFERO

AQÜÍFERO	Nº DE POÇOS	VAZÃO MÉDIA – m^3/h	VAZÃO TOTAL – m^3/h	VAZÃO ANUAL m^3/ano
Complexo Belo Horizonte	189	6,39	1.271,47	3.712.692,40
Grupo Sabará	26	3,34	112,85	329,522,00
Formação Gandarela	9	4,99	44,88	131.049,60
Formação Gandarela (anomalia)	4	127,29	509,15	1.486.718,00
Formação Cercadinho	6	11,09	66,54	194.296,80
Formação Cauê	5	5,96	29,80	87.016,00
Formação Fecho do Funil	2	4,60	9,20	26.864,00
Formações Taboões/Barreiro	1	7,79	6,79	19.826,80
Totais	252		2.050,68	**5.987.985,60**

Como a parcela de água pluvial infiltrada corresponde à reserva temporária ou renovável dos aqüíferos, pode-se concluir que 47% dessa reserva volta anualmente como descarga de base para os exutórios naturais.

Conclui-se desses dados que a atual demanda de água subterrânea pode duplicar sem que seja comprometida a reserva permanente dos aqüíferos locais.

As reservas permanentes podem ser estimadas considerando uma espessura média do maciço rochoso fraturado de 50 m e uma porosidade eficaz média de 10%, que é o valor característico para esses tipos de aqüíferos. Ter-se-ia para a área do município de 335,5 km^2 uma reserva permanente de 1,677 bilhões de metros cúbicos.

Isso significa que, se o atual consumo d'água subterrânea nesse município aumentasse 10 vezes, somente seria utilizado por ano 2,9 % da reserva permanente desses aqüíferos.

É, portanto, tranqüila a situação da explotação de água subterrânea nesse município, que conta com mais de 95% do abastecimento de água garantido pelos recursos hídricos superficiais, pelo que, deverá ser muito reduzida a taxa de incremento de utilização da água subterrânea no futuro, a qual deixou de ser atrativa sob o ponto de vista financeiro com a perspectiva da nova política nacional para a utilização dos recursos hídricos subterrâneos, ou seja, deixando de ser gratuita a explotação de um poço tubular particular.

5. HIDROQUÍMICA

5.1. RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ESTUDADAS

A caracterização hidroquímica da área estudada foi baseada em análises físico-químicas de diferentes épocas e procedências, conforme a seguir discriminadas:

- análises constantes do cadastro existente: 39
- análises levantadas na atualização do cadastro no presente estudo: 89
- análises realizadas através do presente estudo: 25

Total de análises físico-químicas: 153

Considerando o desconhecimento das condições de construção dos poços tubulares em Belo Horizonte, e das conseqüências de eventuais falhas nessa construção sobre a qualidade das águas captadas, serão comentadas, no presente capítulo, apenas as falhas constatadas na realização da análise físico-química, procedendo as correções factíveis de promover a fim de tipificar e classificar as águas analisadas.

5.1.1. Análises existentes

No cadastro de Silva et al (1994), dos 91 poços levantados apenas 39 possuíam análise físico-química (43%).

Embora não seja mencionada naquele estudo a procedência da análise em termos de laboratório, é extremamente variável a quantidade de determinações físico-químicas nessas análises, conforme pode ser observado no Quadro 5.1.

5.1.2. Análises levantadas na atualização do cadastro no presente estudo

Na atualização do cadastro de poços foram acrescentados 167 poços, porém desses novos poços apenas 89 continham análises físico-químicas (53%).

QUADRO 5.1 - VARIAÇÃO NAS DETERMINAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DOS POÇOS EXISTENTES

Nº DE DETERMINAÇÕES	Nº DE ANÁLISES
21	26
19	1
18	2
17	1
15	2
14	5
13	1
10	1
	39

O Quadro 5.2 mostra a extrema variabilidade dessas últimas determinações.

QUADRO 5.2 - VARIAÇÕES NAS DETERMINAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS NOS NOVOS POÇOS CADASTRADOS

Nº DE DETERM.	LABORATÓRIO					TOTAIS
	GEOLAB	SANEAR	ECOLAB	LIMNOS	COPASA	
32		2		2		4
30		18	5			23
29			6			6
27	9					9
26	1					1
25	5		5			10
24			7			7
23			1			1
20			1			1
19	3					3
17	6					6
15			1		2	3
14			1			1
13			3			3
12			10			10
11			1			1
						89

Observa-se nesse quadro que em um mesmo laboratório o número de determinações variou 11 vezes, desde 11 até 30 determinações físico-químicas. Como dificilmente o proprietário do poço tem conhecimento necessário para definir quais parâmetros são importantes para caracterizar a potabilidade de sua água, deve-se debitar aos próprios laboratórios a responsabilidade sobre a incoerência dos números acima indicados.

O maior problema, como será analisado no item 5.2., é que o reduzido número de determinações resulta sempre no total comprometimento da qualidade da análise, impedindo a verificação de sua exatidão e a classificação hidroquímica da água analisada.

5.1.3. Análises realizadas na presente pesquisa

Na pesquisa que embasou a presente tese foram realizados dois tipos de análises físico-químicas:

a) análises para caracterização hidroquímica das águas subterrâneas

b) análises para caracterizar a eventual contaminação das águas subterrâneas

No presente capítulo serão comentadas apenas as primeiras dessas análises, pois objetivam complementar a caracterização dos aqüíferos estudados, sendo o segundo grupo comentado na parte 2 do presente estudo.

As análises físico-químicas para caracterização hidroquímica incluem dois grupos distintos. No primeiro, foram determinados 19 parâmetros convencionais para potabilidade e mais 32 determinações de metais, sendo executadas em 12 amostras de poços diferentes. O segundo grupo visou complementar algumas análises já existentes, onde foram acrescentadas as determinações de nitrato e de 32 metais, o que foi realizado em 14 amostras de poços diferentes.

5.2. ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DE DADOS

A ausência de critérios uniformizados nos diferentes laboratórios de análises de água, em Belo Horizonte, observado no Quadro 5.2., reflete-se no baixo índice de qualidade dessas análises, dificultando e restringindo qualquer análise conclusiva sobre a caracterização dessas águas.

Assim é que, das 140 análises já referidas (39 do antigo cadastro, 89 da atualização desse cadastro e 12 realizadas no presente estudo), apenas 75 puderam ser estudadas, ou seja, 46% das análises realizadas não apresentam as mínimas condições para qualquer estudo conclusivo.

As restrições que impediram ou dificultaram a caracterização das águas subterrâneas dos poços estudados foram as seguintes:

- ausência das determinações de HCO_3, CO_3, e K em **todas** as análises;
- ausência das determinações de Ca e Mg em **41** análises;
- ausência da determinação de Na em **104** análises;
- erros de análise incompatíveis com os limites tolerados em **24** análises

Algumas dessas deficiências puderam ser sanadas utilizando-se artifícios teóricos, pois, do contrário, nenhuma das análises poderia ser aproveitada.

Assim, das 140 análises, 41 foram totalmente rejeitadas pela falta das determinações de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), reduzindo o número total para 99 análises. Dessas, 25 acusaram erro de análise, reduzindo esse número para 75. Nessas 75 análises foram determinados por cálculo os valores de bicarbonato (HCO_3), carbonato (CO_3) e sódio + potássio (Na + K).

a) Parâmetros determinados

HCO_3 e CO_3:

Para o cálculo do HCO_3 e CO_3 foi ainda adotada como válida a premissa que a alcalinidade de bicarbonato corresponde à alcalinidade total, pois em todas as análises as outras alcalinidades ou não foram determinadas ou acusaram um valor nulo.

Assim, usando as equações adotadas por Logan (1965) tem-se:

$$HCO_3 = \frac{(\text{Alcalinidade total}/50) + 10^{3-pH} - 10^{pH-11}}{1 + (9{,}38 \times 10^{pH-11})} \quad [\text{ meq/L }] \qquad 5.1.$$

$$CO_3 = (HCO_3) \times 9{,}38 \times 10^{pH-11} \quad [\text{ meq/L }] \qquad 5.2.$$

$$OH = 10^{pH-11} \quad [\text{ mg/L }] \qquad 5.3.$$

Na + K:

Pelo balanço iônico, o somatório de cátions é igual ao somatório de ânions, pelo que se pode facilmente determinar o conjunto Na + K como segue:

$$Na + K = (Cl + HCO_3 + CO_3 + SO_4 + NO_3) - (Ca + Mg + Fe + Mn) \quad [\text{ meq/L }] \qquad 5.4.$$

Considerando que a participação do potássio é geralmente muito inferior à do sódio, pode-se considerar esse conjunto como correspondente à participação do sódio. Por outro lado, esses dois íons entram sempre em conjunto nas principais classificações hidroquímicas, como as de Pipper e de Stiff.

b) Parâmetros não determinados

Ca + Mg:

O cálcio e o magnésio poderiam ser calculados desde que um deles tivesse sido determinado, pois:

$$\text{Dureza } (mg/L caCO_3) = 2{,}497\ Ca\ (mg/L) + 4{,}115\ Mg\ (mg/L) \qquad 5.5.$$

Ocorre que em 41 análises efetuadas, ambos os íons estavam ausentes, o que determinou de plano o descarte dessas análises.

c) Erros de análise

Calculados os elementos não determinados nas análises (HCO_3, CO_3, K e Na), foi realizada uma consistência para avaliar o erro de análise através da seguinte fórmula (Logan, 1965):

$$\text{Erro (\%)} = \frac{[\ \Sigma \text{ cátions} - \Sigma \text{ anions}\ ]}{[\ \Sigma \text{ cátions} + \Sigma \text{ anions}\ ]} \times 100 \qquad 5.6.$$

Das 99 análises consistidas, 10 revelaram erro variável entre 13,5% e 44,3%, quando os limites estipulados em Logan (1965) variam em função do somatório de cations ou de ânions da forma que se segue:

Σ cátion ou Σ ânions em meq/L	Erro permissível em %
1	10
2	6
6	4
14	3
30	2

A tabela apresentada no Anexo 3.3. mostra todos os dados consistidos, apresentando ainda um valor ligeiramente acima do limite (10,4%) já que a soma de cátions é um pouco inferior a 1,0 meq/L. Além dessas 10 análises, 14 revelaram um valor negativo para Na + K, mostrando que o somatório de ânions já era muito superior ao de cátions antes de calcular o Na+K, o que também evidencia um erro de análise.

Deve-se observar ainda que, das 104 análises em que foram calculados o Na+K pode haver erro de análise, pois como esse elemento foi calculado por diferença, a soma de cátions será sempre igual à de ânions, resultando um erro nulo, a não ser quando a diferença de ânions já é muito grande para dar um Na+K negativo, como ocorreu em 14 amostras. Exemplos de um provável erro podem ser observados nas amostras 185 e 210, onde o Na+K é extremamente atípico, como poderá ser melhor visualizado nos diagramas de Piper e de Stiff mostrados no item 5.3.1.

Conclui-se assim, que um erro mínimo de 24 amostras em 99 análises já é suficiente para considerar muito ruim a qualidade das análises químicas dos laboratórios de Belo Horizonte, no que é corroborado pela falta de critérios na definição dos parâmetros necessários à caracterização da potabilidade de uma água.

O Quadro 5.3. resume por aqüífero captado o resultado da redução das análises para fins de classificação das águas, em função da consistência de dados realizada.

QUADRO 5.3 - SITUAÇÃO DAS ANÁLISES CONSISTIDAS

UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	NÚMERO DE ANÁLISES		
	INICIAIS	DESCARTADAS	FINAIS
TOTAIS	**140**	**65**	**75**
Complexo Belo Horizonte	104	47	57
Supergrupo Minas	36	18	18
Grupo Sabará	16	9	7
Formação Gandarela	10	6	4
Formação Cercadinho	6	2	4
Formação Cauê	2	0	2
Formação Fecho do Funil	1	0	1
Formações Taboões/Barreiro	1	1	0

5.3. TIPIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE BELO HORIZONTE

Na análise que se segue serão apresentados os parâmetros mais representativos na caracterização de uma água, principalmente quando se leva em consideração a possibilidade de influência de eventuais contaminações.

Serão excluídos dessa análise aqueles elementos que se apresentaram ausentes em um grande número de análises, pois daria uma falsa idéia de sua distribuição espacial na área estudada.

Serão assim abordados os seguintes parâmetros:

- pH e Dureza
- Condutividade Elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos
- Cloretos e Nitratos
- Elementos traços metálicos e não metálicos

Nessa avaliação serão utilizadas todas as análises realizadas, incluindo aquelas descartadas no item anterior, pois será mais importante observar os valores extremos de cada parâmetro analisado em função do risco representado pela sua presença na água, sendo difícil definir *a priori* quais desses valores estão incorretos em função dos critérios que levaram ao descarte 65 análises físico-químicas no item anterior.

5.3.1. pH e Dureza

O ***potencial hidrogeniônico – pH*** – mede a concentração de íon de hidrogênio (H^+), expressando a alcalinidade ou a acidez de uma água natural. Representa o logaritmo da recíproca da concentração molar do íon hidrogênio, ou seja:

$$pH = \log_{10} \frac{1}{(H+)} \qquad 5.7.$$

Assim, se uma água contém 10^{-7} mols/L de H^+ seu pH é 7. O pH 7 corresponde a uma água neutra, sendo ácida se for inferior a 7 e alcalina se superior a 7

Geralmente os padrões de potabilidade indicam a faixa 6,5-8,5 para o pH aceitável das águas, embora pequenas variações em torno desses valores não constituam restrição ao uso para o consumo humano.

Na área pesquisada esse valor varia por litologia conforme indicado no Quadro 5.4

QUADRO 5.4 - VARIAÇÃO DO *pH* POR LITOLOGIA

LITOLOGIA	pH mínimo	pH máximo	pH médio
Complexo Belo Horizonte	5,60	8,20	**7,29**
Grupo Sabará	6,25	8,20	**7,64**
Formação Gandarela	7,10	8,35	**7,86**
Formação Cercadinho	6,32	7,92	**7,30**
Formação Cauê	7,27	7,71	**7,49**

Esses valores revelam uma grande semelhança entre as águas dos diferentes aqüíferos dessa região, com todas as médias variando pouco em torno da média geral de 7,37. Trata-se de águas praticamente neutras, variando entre ligeiramente ácidas a ligeiramente alcalinas.

Apenas as águas da Formação Gandarela são ligeiramente mais alcalinas, em conseqüência da presença de calcários e dolomitos nessa formação. Os valores em vermelho no quadro acima estão abaixo do limite mínimo da maior parte das classificações de potabilidade.

No mapa da figura 5.1 essa uniformidade pode ser comprovada, com um predomínio da faixa de pH situado entre 7,0 e 7,5, com algumas variações para menos no Complexo Belo Horizonte e Grupo Sabará e para mais na Formação Gandarela.

A ***dureza*** é conseqüência principalmente da presença de cálcio e magnésio, conforme equação 5.5., todavia, em suas medições esse parâmetro leva em consideração apenas a quantidade equivalente de carbonato de cálcio. Assim, a dureza de 230 mg/L-$CaCO_3$ corresponde a uma água que contenha em solução 230 mg/L de $CaCO_3$. A variação desse parâmetro por litologia na área pesquisada pode ser visualizada no Quadro 5.5

QUADRO 5.5 - VARIAÇÃO DA *DUREZA* COM A LITOLOGIA

LITOLOGIA	DUREZA – mg/L $CaCO_3$		
	Mínimo	Máximo	Médio
Complexo Belo Horizonte	12,50	156,70	**56,43**
Grupo Sabará	0,32	195,80	**67,21**
Formação Gandarela	0,05	89,50	**54,65**
Formação Cercadinho	30,00	80,20	**55,53**
Formação Cauê	15,09	104,10	**59,60**

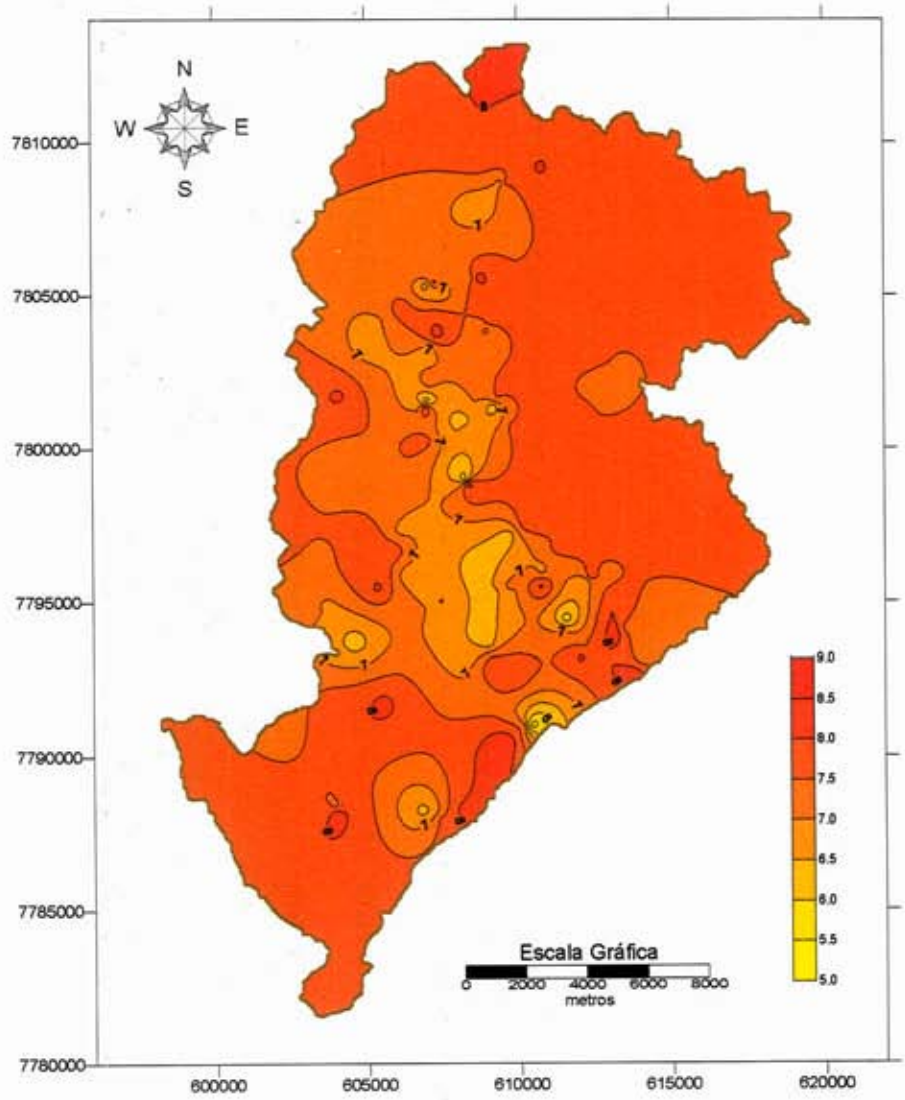


FIGURA 5.1
VARIAÇÃO DE pH

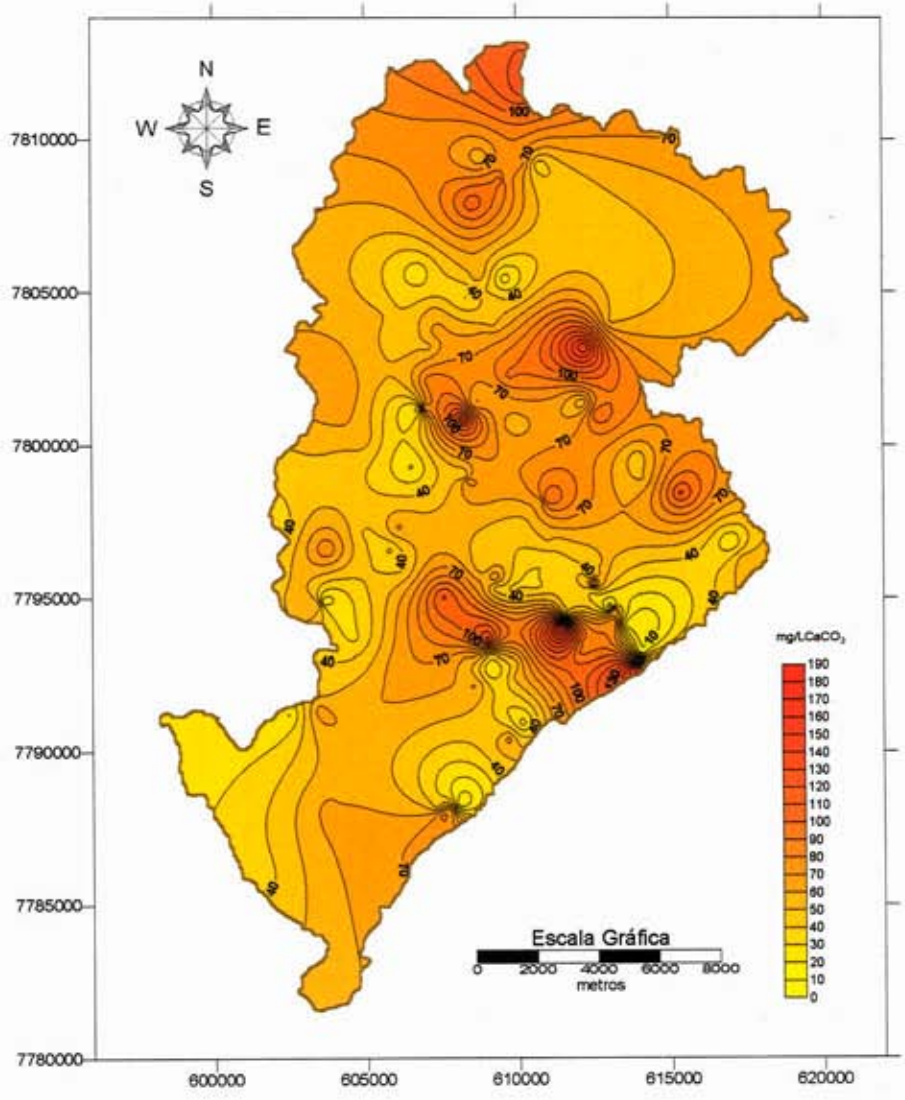


FIGURA 5.2
VARIAÇÃO DE DUREZA

Esses valores revelam uma dureza, em média, muito baixa para essas águas e até mesmo os valores máximos podem ser considerados baixos para a potabilidade de uma água, que tem como limite 500 mg/L em $CaCO_3$.

A exemplo do pH, a dureza também mostra uma grande semelhança para águas de diferentes litologias, ficando todas as suas médias próximas ao valor médio para a dureza nessa área que é de 57,54 mg/L em $CaCO_3$.

Estranha-se, porém, que os maiores valores de dureza correspondam ao Grupo Sabará, enquanto a Formação Gandarela acusa os mais baixos valores, apesar do predomínio do calcário e dolomito nessa última formação.

No mapa de distribuição espacial da dureza – figura 5.2 – pode-se observar que as variações extremas desse parâmetro são muito aleatórias, não guardando qualquer relação com o tipo litológico.

5.3.2. Condutividade Elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos

Ambos os parâmetros expressam a salinização da água, pois quanto maior o conteúdo de sais dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água.

A variação da condutividade elétrica – CE – e dos sólidos totais dissolvidos – STD – nas diversas litologias pode ser avaliada no Quadro 5.6

QUADRO 5.6 - VARIAÇÃO DA *CE* E DOS *STD* POR LITOLOGIA

PARÂMETRO/ UNIDADE	VALORES	COMPLEXO B.HORIZ.	GRUPO SABARÁ	FORMAÇÃO GANDARELA	FORMAÇÃO CERCAD.	FORMAÇÃO CAUÊ
CE µmho/cm	MÍNIMO	2,70	50,00	23,00	55,10	29,66
	MÁXIMO	448,80	409,00	247,00	131,70	219,00
	MÉDIO	**137,45**	**161,30**	**100,73**	**95,85**	**124,33**
STD mg/L	MÍNIMO	2,40	30,00	21,80	45,00	40,00
	MÁXIMO	426,00	335,40	189,40	129,00	113,00
	MÉDIO	**119,01**	**137,80**	**87,67**	**85,03**	**76,75**

Conforme pode ser analisado nesse quadro, as águas subterrâneas de Belo Horizonte apresentam uma salinização muito baixa, considerando tratar-se de aqüíferos fissurais onde as águas se concentram ao longo das fraturas, podendo dissolver os minerais contidos nas suas paredes e provocar sua progressiva salinização.

Além de baixos, esses valores revelam, a exemplo dos anteriormente analisados, uma grande semelhança na salinização de todos os aqüíferos fissurais desse município.

As águas da Formação Sabará revelaram uma salinização ligeiramente superior à media geral (18% a mais), enquanto a Formação Cercadinho mostrou-se a menos salinizada (28% a menos que a média geral).

Essa conclusão não pode ser reproduzida nos mapas de sólidos totais – figura 5.3 - e de condutividade elétrica – figura 5.4 - por duas razões: o Complexo Belo Horizonte possui 74% das amostras analisadas e as maiores variações (mínimo e máximo) ocorrem exatamente nessa litologia, daí serem mais nítidas as anomalias que esses mapas apresentam na área correspondente a esse aqüífero.

5.3.3. Cloretos e Nitratos

Embora esses ânions constituam importantes indícios para a contaminação das águas subterrâneas, seus valores são muito baixos nas águas subterrâneas analisadas nesse município.

O Quadro 5.7 mostra a distribuição do cloreto nas diferentes litologias presentes na área pesquisada.

QUADRO 5.7 - VARIAÇÃO DE CLORETOS POR LITOLOGIA

LITOLOGIA	VALORES DE Cl⁻ - mg/L		
	Mínimo	Máximo	Médio
Complexo Belo Horizonte	0,10	49,60	**6,78**
Grupo Sabará	0,90	55,80	**8,27**
Formação Gandarela	0,01	10,00	**3,03**
Formação Cercadinho	0,37	5,70	**2,75**
Formação Cauê	0,25	9,10	**4,67**

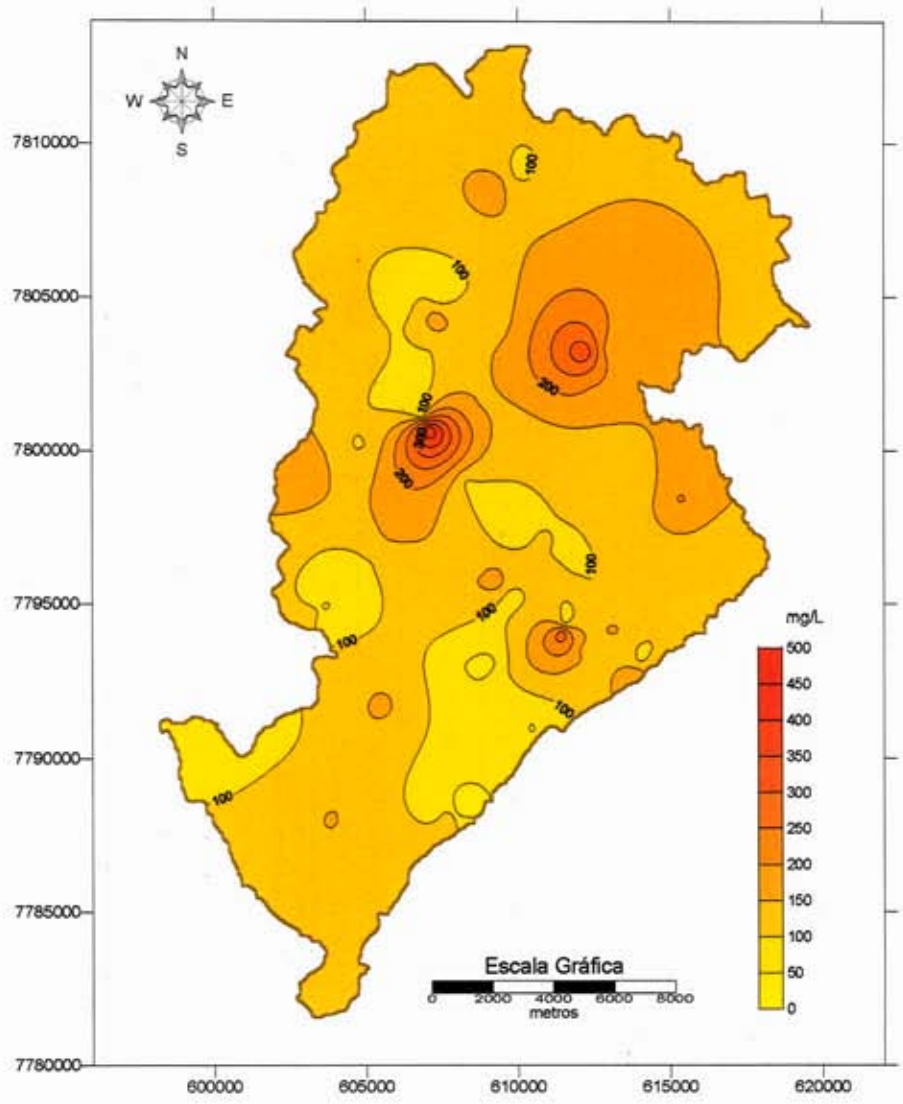


FIGURA 5.3
DISTRIBUIÇÃO DOS SÓLIDOS TOTAIS

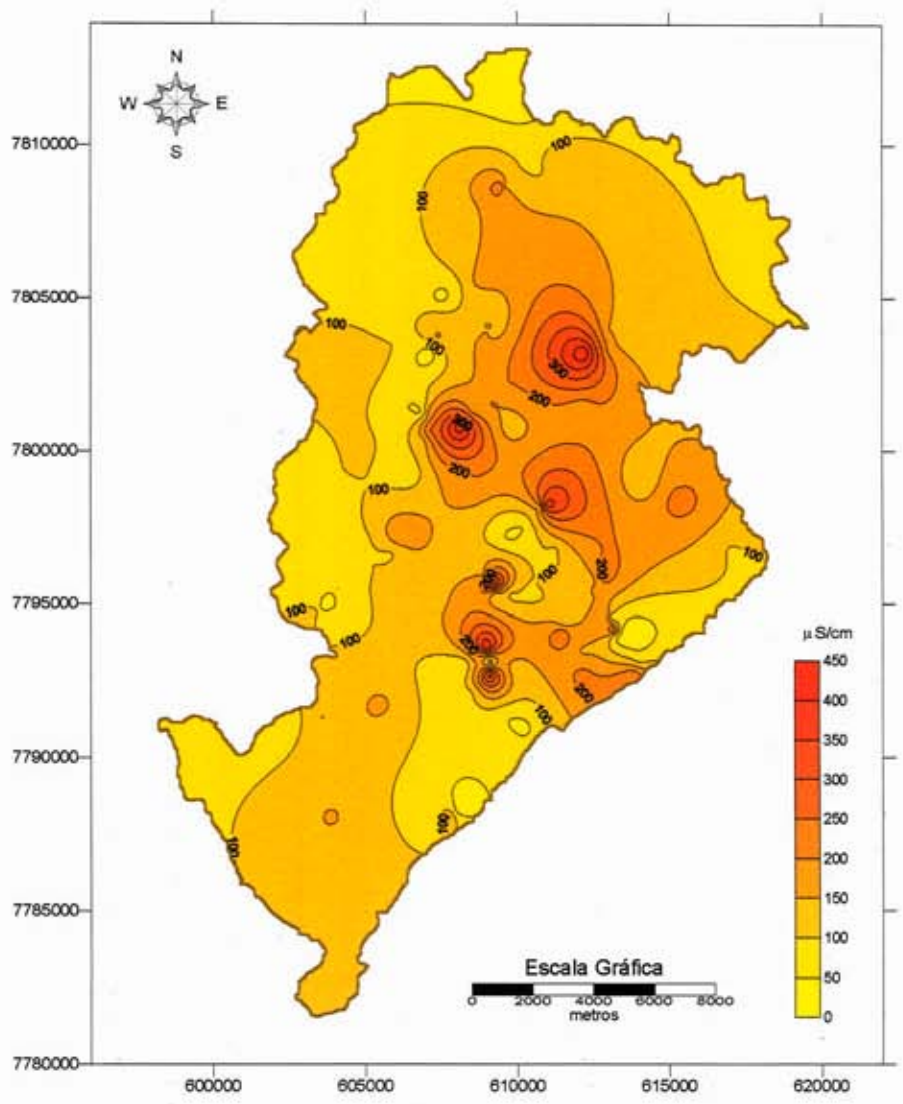


FIGURA 5.4
DISTRIBUIÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Os ***cloretos*** são encontrados em pequena quantidade nos minerais das rochas, todavia, sua presença em grande quantidade na água subterrânea indica uma facilidade de transporte desse elemento ao longo da zona não saturada, provindo da atmosfera pela infiltração das águas pluviais, pelo que, sua presença pode representar boas condições para a percolação de produtos contaminantes através da zona vadosa.

Todos os valores são extremamente baixos, inclusive os valores máximos, mostrando, mais uma vez, ser o Grupo Sabará ligeiramente mais salinizado em cloretos e a Formação Cercadinho a menos salinizada.

Os valores máximos muito próximos registrados para o Complexo Belo Horizonte e o Grupo Sabará são facilmente percebidos no mapa da figura 5.5, que mostra ainda um absoluto domínio em toda a região de concentrações de cloretos inferiores a 5,0 mg/L.

Os ***nitratos*** nas águas subterrâneas são, em geral, provenientes da contaminação de origem orgânica. O NO_3 resultante de processos de nitrificação do NH_4 na zona vadosa não é atraído pelas partículas argilosas do solo por ter carga negativa, daí seu fácil acesso até as águas subterrâneas, pelo que sua presença em elevadas concentrações pode representar uma séria contaminação para essa água, com risco para os seus consumidores, o que será alvo de comentários mais detalhados na segunda parte desse trabalho.

Nas águas analisadas foi constatada a variação desse elemento nos diferentes aqüíferos captados conforme se acha apresentado no Quadro 5.8

QUADRO 5.8 - VARIAÇÃO DE NITRATO POR LITOLOGIA

LITOLOGIA	VALORES DE NO_3 - mg/L		
	Mínimo	Máximo	Médio
Complexo Belo Horizonte	0,01	50,58	**3,44**
Grupo Sabará	0,05	26,90	**3,26**
Formação Gandarela	0,01	2,42	**0,54**
Formação Cercadinho	0,05	1,26	**0,28**
Formação Cauê	0,01	0,28	**0,15**

Embora todos os valores médios estejam baixos, devem ser observados com cuidado os valores máximos, pois o limite de NO_3 para consumo humano é de apenas 10,0 mg/L, estando presentes dois valores nesse quadro bem acima desse limite (em vermelho).

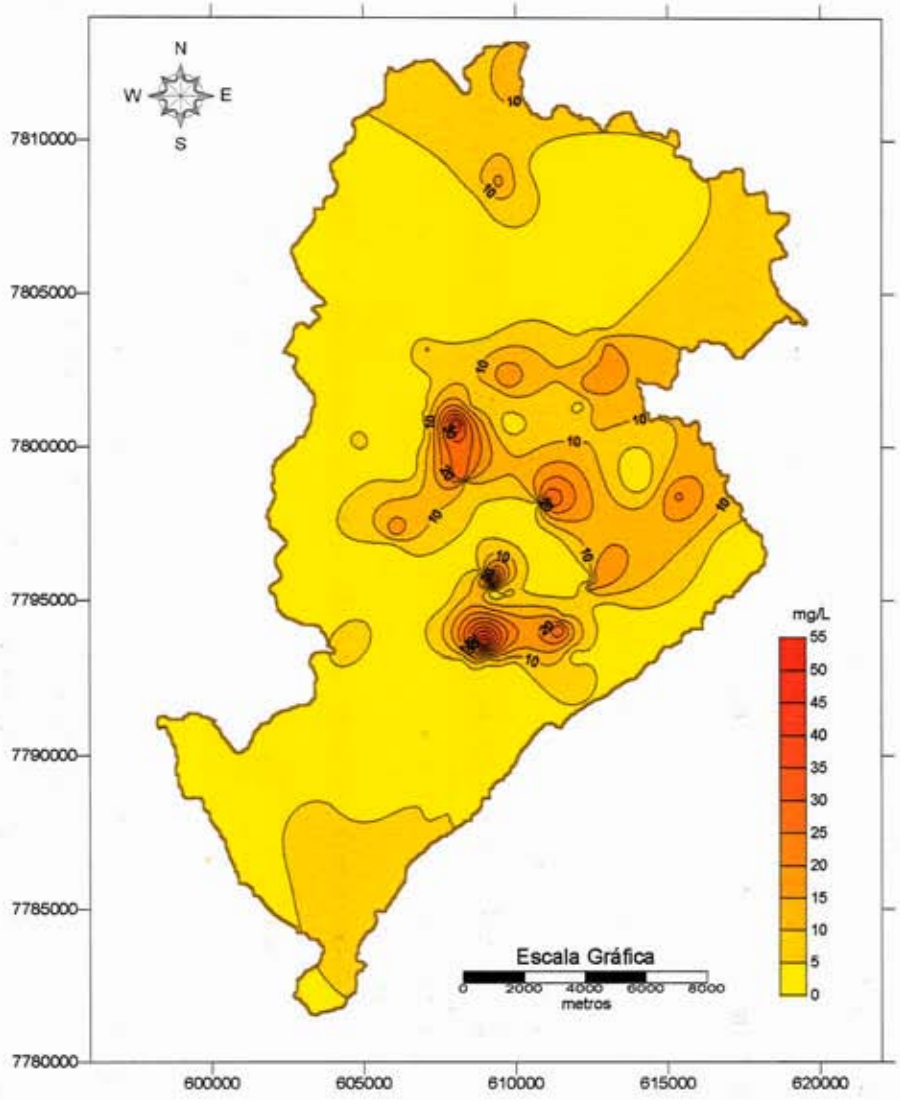


FIGURA 5.5
DISTRIBUIÇÃO DE CLORETOS

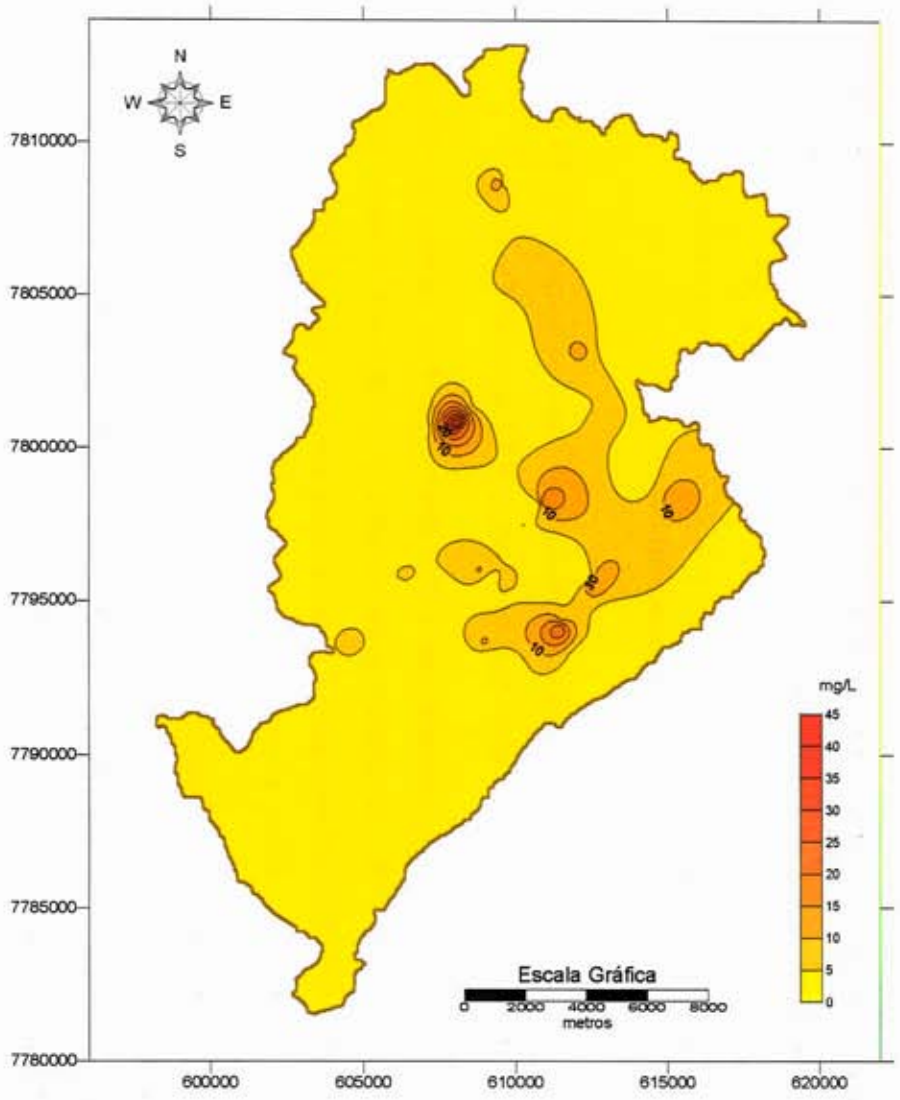


FIGURA 5.6
DISTRIBUIÇÃO DO NITRATO

O mapa da figura 5.6 mostra pelo menos 7 áreas em que esse limite acha-se ultrapassado e não guarda nenhuma relação com a litologia.

5.3.4. Elementos traços metálicos e não metálicos

Das 24 amostras de água em que foram analisados os metais (Anexo 3.2), 19 pertencem ao Complexo Belo Horizonte, 4 ao Grupo Sabará e apenas 1 à Formação Cauê.

Na relação anexada pode-se constatar que foram muito baixos os valores de todos os metais, inclusive daqueles que são controlados pelos padrões de potabilidade a serem apresentados no Quadro 5.9, pelo risco que representam para os seres humanos quando ingeridos acima desses limites.

Assim é que, das 648 determinações realizadas nessas análises, apenas são registrados 4 valores acima dos limites tolerados e, ainda assim, em um excesso que, na maior parte, poderia ser considerado aceitável. São o *alumínio,* na amostra do poço 204, com 0,87 mg/L e o chumbo, nas amostras dos poços 150 (0,03 mg/L), 158 (0,02 mg/L) e 245 (0,100 mg/L). No primeiro caso, embora o limite de alumínio seja de 0,2 mg/L, não representa essa quantidade maior risco para seus consumidores. O segundo caso é mais grave, pois embora haja dois padrões, inclusive da OMS, em que o limite para chumbo é de 0,05 mg/L, a mais nova legislação do Ministério da Saúde para esse limite é de 0,01 mg/L e um dos poços chegou a extrapolar em 11 vezes esse limite.

5.4. CLASSIFICAÇÕES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE BELO HORIZONTE

Para classificação das águas subterrâneas serão consideradas apenas as 75 amostras resultantes da análise de consistência dos dados efetuada no item 5.1.

Foram elaborados dois tipos de classificação. O primeiro objetivou classificar as águas quanto a sua origem, visando não apenas definir o padrão hidroquímico dessas águas, mas também comparar esse padrão nas diferentes litologias; no segundo tipo, foi observada a utilização dessas águas para fins domésticos (consumo humano), industrial e agropecuário (irrigação de hortas, jardins e pomares na zona urbana).

5.4.1. Classificações quanto a origem

Com esse objetivo foram utilizadas as classificações de Pipper e de Stiff.

5.4.1.1. Classificação de Pipper

As águas analisadas foram introduzidas no diagrama triangular de Pipper e separadas em dois grupos: no primeiro, visto na figura 5.7, foram incluídas as águas do Complexo Belo Horizonte, num total de 57 amostras; no segundo, apresentado na figura 5.8, foram incluídas todas as águas do Supergrupo Minas, correspondente às rochas metavulcano-sedimentares, num total de 18 amostras.

A plotagem desses pontos obedeceu às técnicas desenvolvidas por Pipper e apresentado em Pipper, 1944.

Observa-se nesses diagramas que todas as águas subterrâneas de Belo Horizonte apresentam uma grande semelhança de composição química, independentemente da litologia em que se encontram armazenadas. Todas podem ser classificadas como **bicarbonatadas mistas** de ambiente bicarbonatado cálcico-magnesiano. Anionicamente, as águas são essencialmente bicarbonatadas, porém, cationicamente, são predominantemente mistas, numa mistura principalmente entre cálcio e magnésio.

Esse gráfico ratifica os comentários exarados no item 5.3.3., com relação à insignificante participação do cloreto nessas águas.

Os dois pontos mostrados na figura 5.8 em que o sódio atinge 100% entre os cátions referem-se às amostras 185 e 210 já mencionadas no item 5.2.4. como possíveis conseqüências de erros de análise laboratorial.

5.4.1.2. *Classificação de Stiff*

Por tal método, as águas subterrâneas estudadas foram apresentadas separadamente por litologia, sendo apresentados alguns desses gráficos para subsidiar a discussão que se segue.

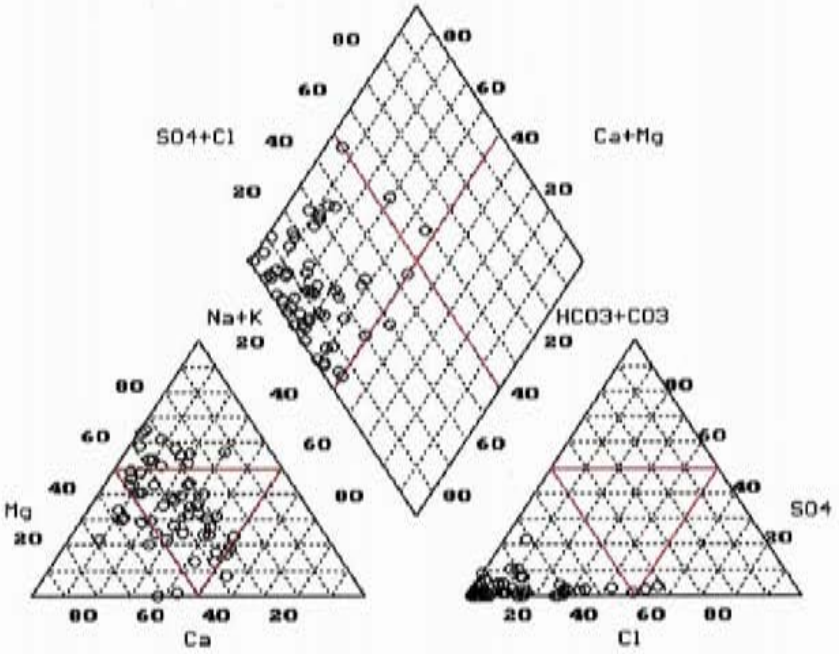


FIGURA 5.7 - Gráfico triangular de Piper para classificação iônica das águas subterrâneas do Complexo Belo Horizonte

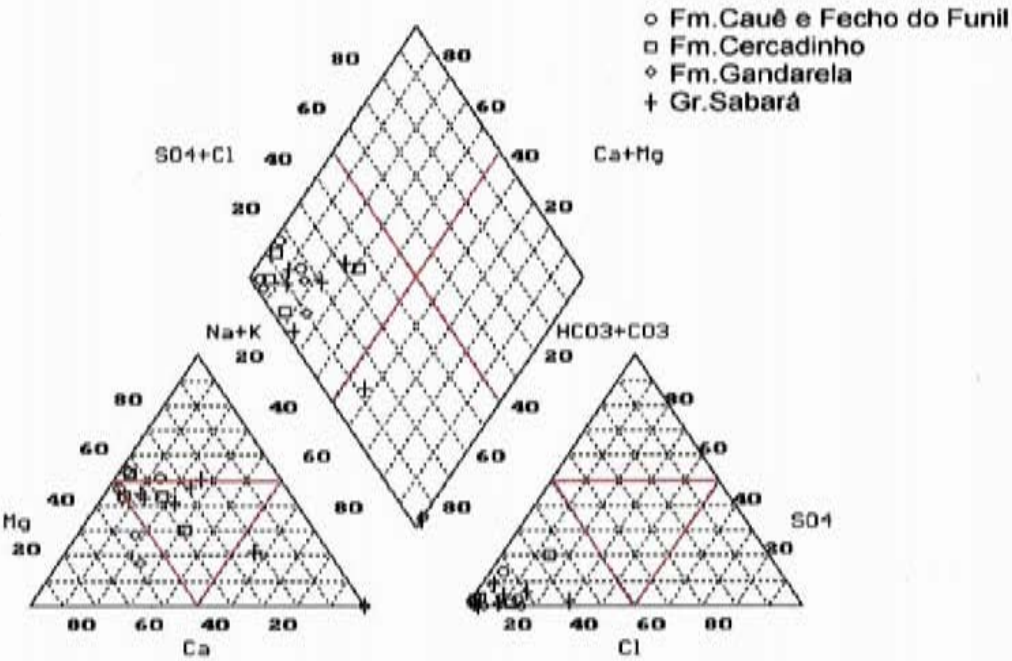


FIGURA 5.8 - Gráfico triangular de Piper para classificação iônica das águas subterrâneas do Supergrupo Minas (Formações Cauê, Fecho do Funil, Cercadinho e Gandarela e Grupo Sabará)

As águas do Complexo Belo Horizonte acham-se representadas pelas 10 amostras incluídas no gráfico da figura 5.9; as águas do Grupo Sabará acham-se representadas pelas 3 amostras da figura 5.10; as águas da Formação Gandarela acham-se todas representadas pelas 4 amostras do gráfico da figura 5.11; as águas das formações Cauê e Fecho do Funil acham-se todas representadas no gráfico da figura 5.12; e as águas da Formação Cercadinho acham-se representadas no gráfico da figura 5.13.

Comparando-se esses gráficos nota-se uma total semelhança na composição aniônica de todas as águas, com predomínio absoluto dos íons HCO_3 e CO_3 e reduzida participação de Cl e SO_4.

Na composição catiônica também há grande semelhança, com predomínio do Ca e Mg, discreta participação do Na+K e praticamente ausência de Fe.

Devem ser observadas as anomalias das amostras 210 no gráfico da figura 5.10 e 185 na figura 5.11, onde o Na+K assumem a totalidade dos cátions, excetuando o Fe. Como já referido anteriormente, essa anomalia deve ser conseqüência de erro de análise não detectada por ter sido o Na determinado por diferença no balanço iônico.

5.4.2. Classificações quanto ao uso

A utilização da água em uma zona urbana deve priorizar o consumo humano, que é subsidiado pelo uso industrial e, por último, pela irrigação de praças e jardins públicos, além de hortas e pomares domésticos, principalmente nas zonas periféricas das cidades.

5.4.2.1. Água para o consumo humano

Para avaliar as possibilidades de utilização da água subterrânea para consumo humano serão utilizados dois métodos: o gráfico e o de limites padronizados.

a) Método Gráfico

Como método gráfico foi usado o de Durfor & Becker (1962), in Souza (1995), que define a potabilidade segundo a salinidade e a dureza.

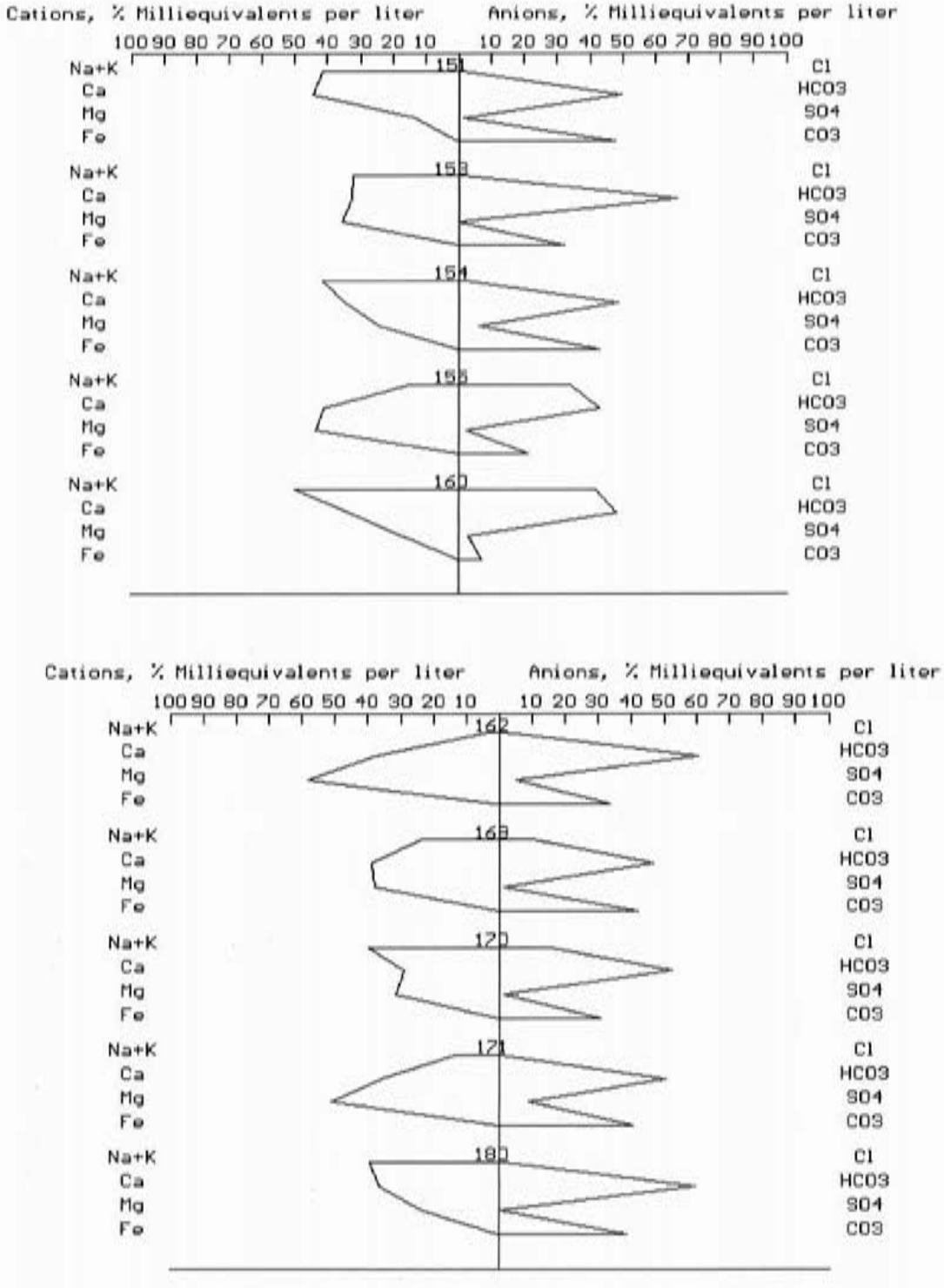


FIGURA 5.9 - Gráficos de Stiff para as águas subterrâneas do Complexo Belo Horizonte

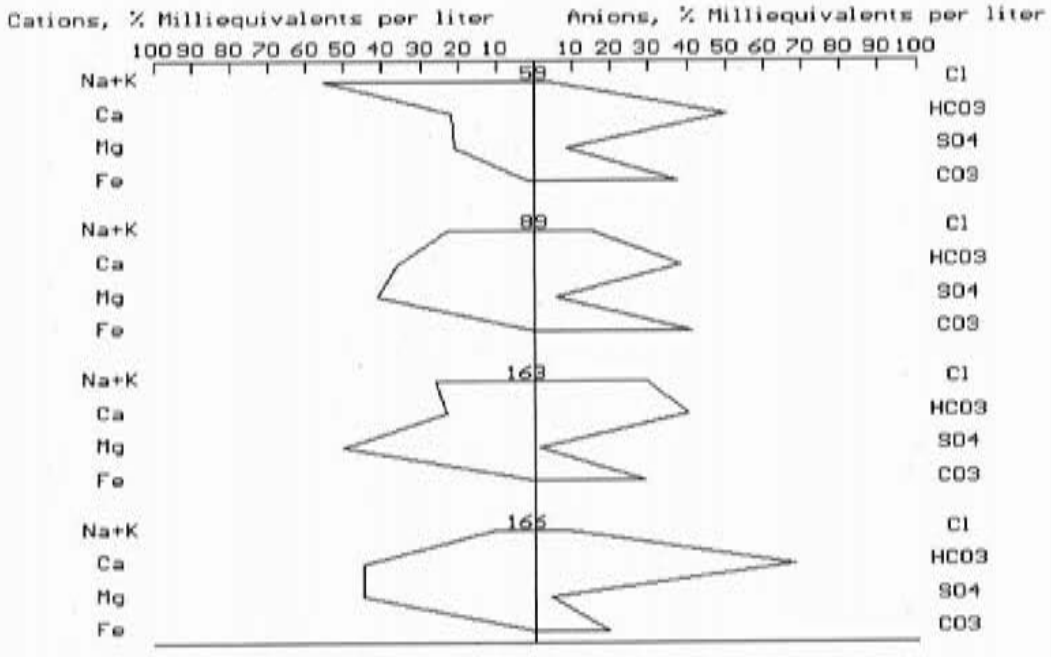


FIGURA 5.10 - Gráficos de Stiff para as águas subterrâneas da Formação Sabará

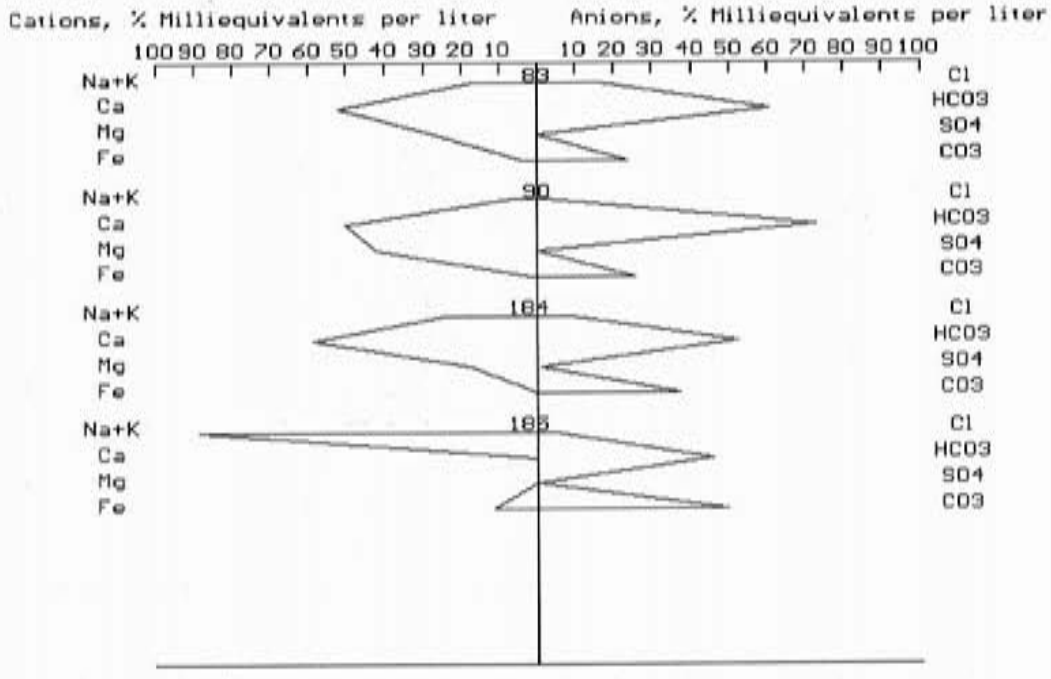


FIGURA 5.11 - Gráficos de Stiff para as águas subterrâneas da Formação Gandarela

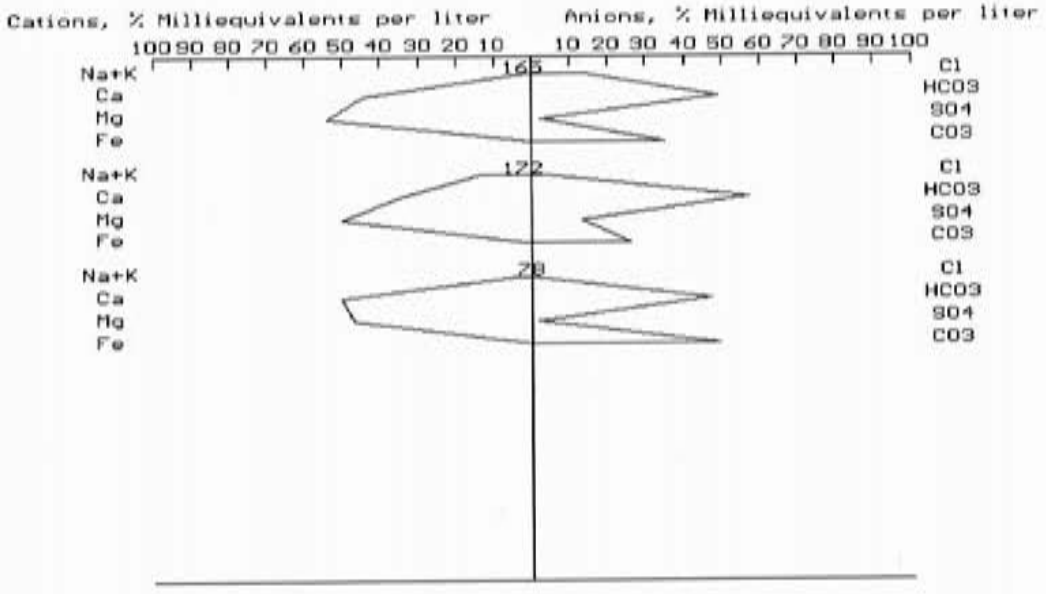


FIGURA 5.12 - Gráfico de Stiff para as águas subterrâneas das Formações Cauê e Fecho do Funil

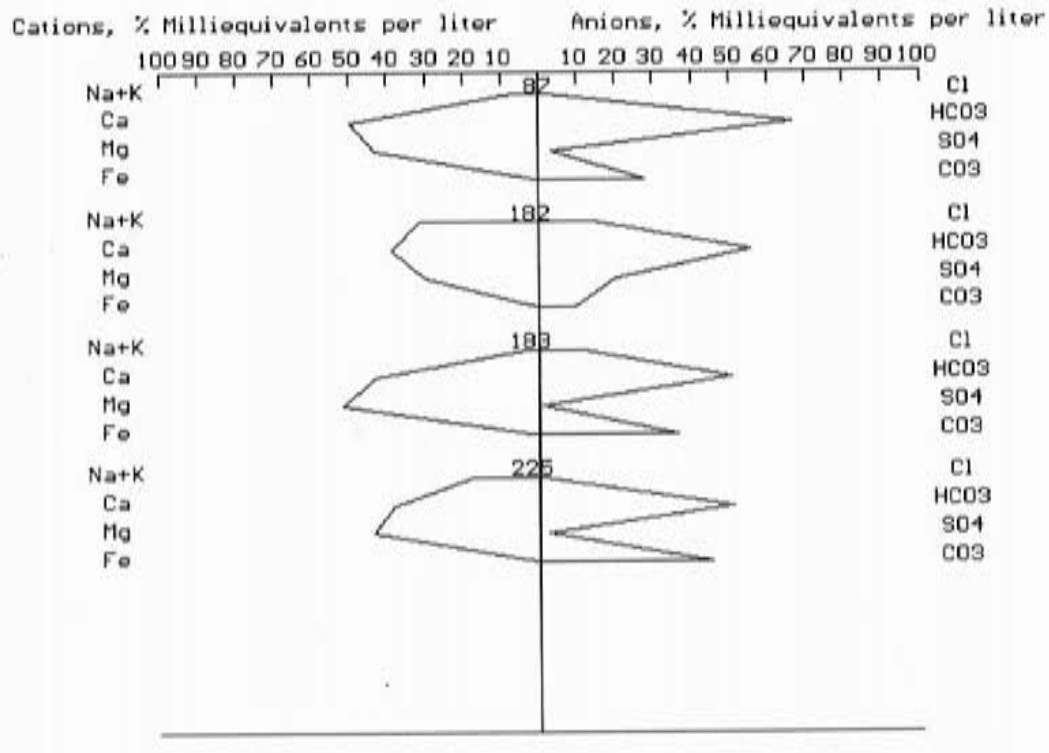


FIGURA 5.13 - Gráfico de Stiff para as água subterrânea da Formação Cercadinho

Nesse gráfico, reproduzido na figura 5.14, foram plotadas todas as amostras analisadas, distribuídas nas litologias que dispunham de 6 ou mais poços.

Analisando esses gráficos podem-se tirar as seguintes conclusões:

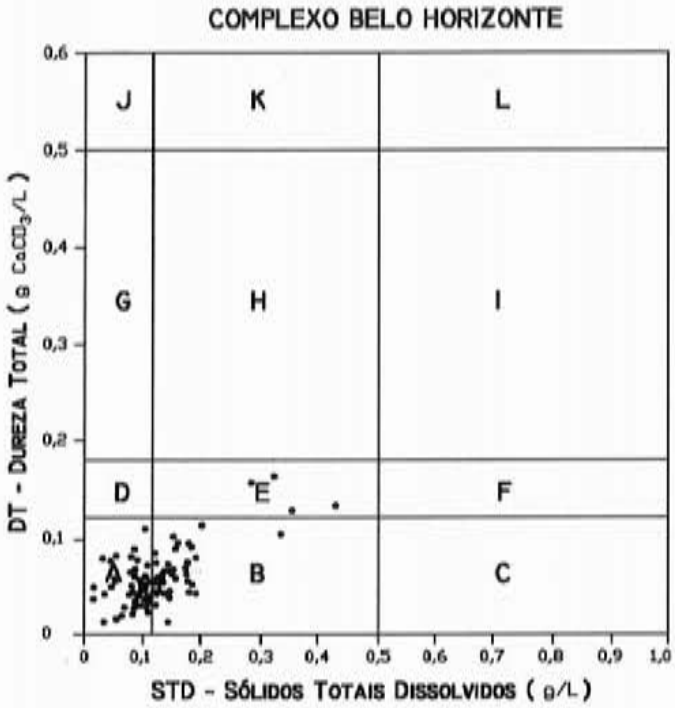
- há uma grande semelhança nas águas de diferentes litologias, conforme já referido anteriormente;
- em todas as litologias as águas podem ser classificadas como ***águas brandas, de dureza boa e salinidade boa a razoável.***
- todas as 6 águas classificadas como "E" (duras), ou seja, *dureza e salinidade razoáveis* não apresentam resultados confiáveis por terem sido descartadas na análise de consistência dos dados realizada no presente trabalho. Ainda assim, representam apenas 4,3% do total das amostras analisadas.

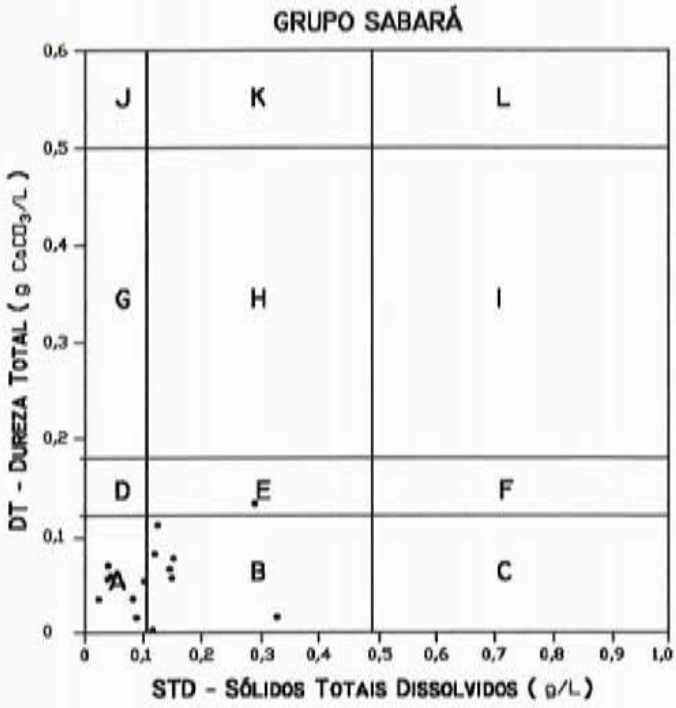
b) Método de Limites Padronizados

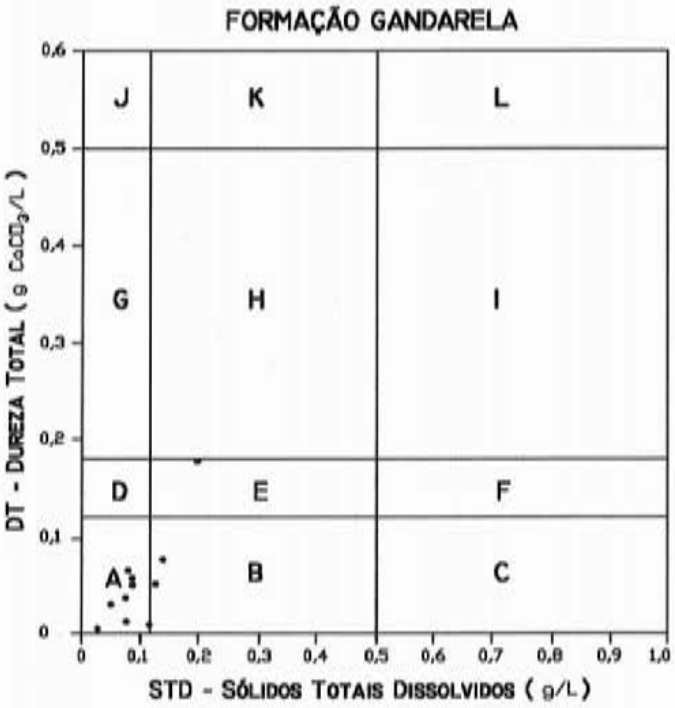
No Quadro 5.9. acham-se relacionados 4 padrões de potabilidade para consumo humano de qualquer água, sendo um da Organização Mundial de Saúde e três brasileiros, incluindo a mais nova legislação do Ministério da Saúde (02.01.01).

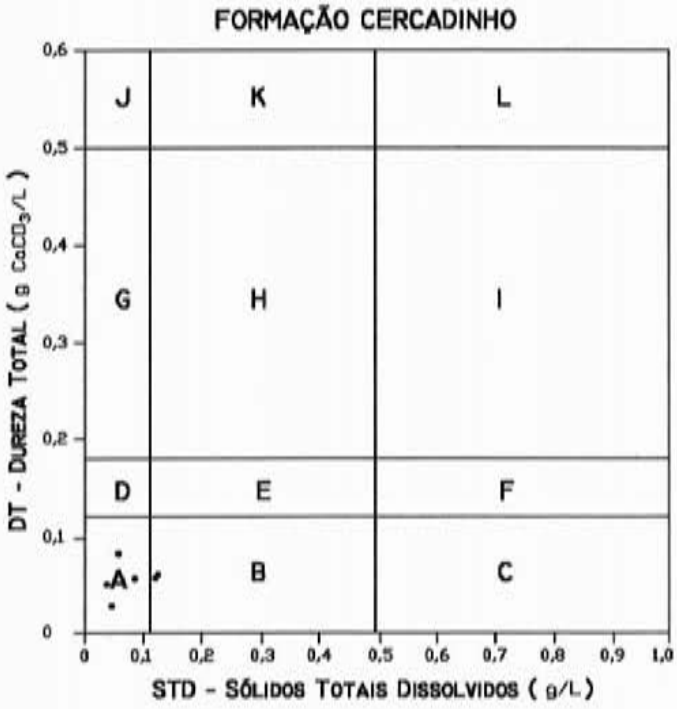
Dos dados referentes às análises existentes e relacionadas nos anexos 3.1 e 3.2, pode-se fazer as seguintes considerações com respeito aos padrões de potabilidade indicados nesse quadro:

- os valores de cor e turbidez que excedem os limites padronizados são conseqüentes de defeitos de construção do poço e falta de desenvolvimento, não sendo imputados à qualidade da água subterrânea esses valores excessivos;
- nenhuma amostra excedeu os limites de sólidos totais dissolvidos, dureza, condutividade elétrica ou dos principais íons que constituem a composição química da água (Cl, HCO_3, CO_3, SO_4, Ca, Mg, K, e Na).
- 32% das águas analisadas apresentaram teor de ferro total superior ao limite padronizado (0,3 mg/L), chegando uma das águas a atingir 15,80 mg/L (52 vezes esse limite);
- 11,4% das águas apresentaram teor de manganês total superior ao limite padronizado (0,1 mg/L), sendo o valor máximo de 0,83 mg/L (8,3 vezes maior que o limite);









CLASSES DE POTABILIDADE			
ÁGUAS BRANDAS	A	DUREZA BOA	SALINIDADE BOA
	B	DUREZA BOA	SALINIDADE RAZOÁVEL
	C	DUREZA BOA	SALINIDADE TOLERÁVEL
ÁGUAS DURAS	D	DUREZA TOLERÁVEL	SALINIDADE BOA
	E	DUREZA TOLERÁVEL	SALINIDADE RAZOÁVEL
	F	DUREZA TOLERÁVEL	SALINIDADE TOLERÁVEL
ÁGUAS MUITO DURAS	G	DUREZA TOLERÁVEL	SALINIDADE BOA
	H	DUREZA TOLERÁVEL	SALINIDADE RAZOÁVEL
	I	DUREZA TOLERÁVEL	SALINIDADE TOLERÁVEL
	J	DUREZA INACEITÁVEL	SALINIDADE BOA
	K	DUREZA INACEITÁVEL	SALINIDADE RAZOÁVEL
	L	DUREZA INACEITÁVEL	SALINIDADE TOLERÁVEL

FIGURA 5.14

POTABILIDADE SEGUNDO A SALINIDADE E A DUREZA

DURFOR & BECKER

- o nitrato excedeu o limite padronizado (10,0 mg/L) em 14 amostras (10% do total), sendo acusado um valor máximo de 50,58 mg/L (5 vezes o limite).

QUADRO 5.9 – PADRÕES DE POTABILIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

ITEM	PARÂMETRO	UNIDADE	FONTES DE REFERÊNCIA			
			1	2	3	4
PARÂMETROS FÍSICOS E ORGANOLÉPTICOS	Cor aparente	uH(*1)	15	20	5	15
	Odor	-	inofensivo	NO(*2)	NO(*2)	NO(*2)
	Sabor	-	inofensivo	NO(*2)	NO(*2)	NO(*2)
	Turbidez	UNT(*3)	5,0	5,0	1,0	5,0
	pH	-	6,5-8,5	-	6,5-8,5	-
PARÂMETROS QUÍMICOS INORGÂNICOS	Antimônio	mg/L An	-	-	-	0,005
	Arsênio	mg/L As	0,05	0,1	0,05	0,01
	Bário	mg/L Ba	-	1,0	1,0	0,7
	Cádmio	mg/L Cd	0,005	0,01	0,005	0,005
	Chumbo	mg/L Pb	0,05	0,1	0,05	0,01
	Cianetos	mg/L CN	0,1	-	0,1	0,07
	Cromo	mg/L Cr	0,05	0,05	0,05	0,05
	Fluoretos	mg/L F	1,5	0,6-1,7	0,6-1,7	1,5
	Mercúrio	mg/L Hg	0,001	0,002	0,001	0,001
	Nitratos	mg/L N	10,0	10,0	10,0	10,0
	Nitritos	mg/L N	-	-	-	1,0
	Prata	mg/L Ag	-	0,05	0,05	-
	Selênio	mg/L Se	0,01	0,01	0,01	0,01
PARÂMETROS QUÍMICOS ORGÂNICOS	Acrilamida	µg/L	-	-	-	0,5
	Benzeno	µg/L	10,0	-	10,0	5,0
	Benzo-a-pireno	µg/L	0,01	-	0,01	0,7
	Cloroformio	µg/L	30,0	-	-	-
	Clorobenzenos	µg/L	0,1-10,0	-	0,1-3,0	-
	Clorofenois	µg/L	0,1-10,0	-	0,1	-
	Cloreto de Vinila	µg/L	-	-	-	5,0
	1,2 Dicloroetano	µg/L	0,3	-	0,3	10,0
	1,1 Dicloroeteno	µg/L	10,0	-	10,0	30,0
	Diclorometano	µg/L	-	-	-	20,0
	Estireno	µg/L	-	-	-	20,0
	Etilbenzeno	µg/L	-	-	-	0,2
	Fenois	µg/L	-	1,0	0,1	-
	Monoclorobenzeno	µg/L	-	-	-	0,12
	Tolueno	µg/L	-	-	-	0,17
	Tetraclor. de Carb.	µg/L	3,0	-	3,0	2,0
	Tetracloroeteno	µg/L	10,0	-	10,0	40,0
	Tetracloroetileno	µg/L	10,0	-	-	-
	Triclorobenzenos	µg/L	-	-	-	20,0
	Tricloroeteno	µg/L	30,0	-	30,0	70,0
	2,4,6 Triclorofenol	µg/L	10,0	-	10,0	-
	Xileno	µg/L	-	-	-	0,3

PARÂMETROS QUÍMICOS QUE AFETAM A QUALIDADE ORGANOLÉ-PTICA	Alumínio	mg/L Al	0,2	0,1	0,2	0,2
	Cloretos	mg/L Cl	250,0	600,0	250,0	250,0
	Cobre	mg/L Cu	1,0	1,0	1,0	2,0
	Dureza Total	mg/L	500,0	-	500,0	500,0
	Ferro total	mg/L Fe	0,3	1,0	0,3	0,3
	Manganês	mg/L Mn	0,1	0,5	0,1	0,1
	Sódio	mg/L Na	200,0	-	-	200,0
	STD (*4)	mg/l	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0
	Sulfatos	mg/L SO_4	400,0	-	400,0	250,0
	Sulfeto de H	mg/L S	-	-	0,025-0,26	0,05
	Zinco	mg/L Zn	5,0	5,0	5,0	5,0
PARÂMETROS PROVENIENTES DE AGROTÓXICOS	Alaclor	µg/L	-	-	-	20,0
	Aldrin e Dieldrin	µg/L	0,03	1,0	0,03	0,03
	Atrazina	µg/L	-	-	-	2,0
	Bentazona	µg/L	-	-	-	300,0
	Clordano (isômeros)	µg/L	0,3	3,0	0,3	0,2
	2,4 D	µg/L	100,0	20,0	100,0	30,0
	DDT (isômeros)	µg/L	1,0	50,0	1,0	2,0
	Endossulfan	µg/L	-	-	-	20,0
	Endrin	µg/L	-	0,2	0,2	0,6
	Glifosato	µg/L	-	-	-	500,0
	Heptacloro + (*5)	µg/L	0,1	0,1	0,1	0,03
	Hexaclorobenzeno	µg/L	0,01	-	0,1	1,0
	Lindano (γ-BHC)	µg/L	3,0	4,0	3,0	2,0
	Metolacloro	µg/L	-	-	-	10,0
	Metoxicloro	µg/L	30,0	100,0	30,0	20,0
	Molinato	µg/L	-	-	-	6,0
	Pendimetalina	µg/L	-	-	-	20,0
	Pentaclorofenol	µg/L	10,0	-	10,0	9,0
	Permetrina	µg/L	-	-	-	20,0
	Propanil	µg/L	-	-	-	20,0
	Simazina	µg/L	-	-	-	2,0
	Toxafeno	µg/L	-	5,0	5,0	-
	Trifluraina	µg/L	-	-	-	20,0
CIANOTOXINAS	Microcistinas	µg/L	-	-	-	1,0
PARÂMETROS PROVENIENTES DE DESINFETANTES	Bromato	mg/L	-	-	-	0,025
	Clorito	mg/L	-	-	-	0,2
	Cloro livre	mg/L	-	-	-	5,0
	Monocloramina	mg/L	-	-	-	3,0
	Surfactantes	mg/L	-	0,5	0,2	0,5
	2,4,6 Triclorofenol	mg/L	10,0	-	10,0	0,2
	Trihalometanos	mg/L	-	-	100,0	0,1
PARÂMETROS RADIOATIVOS	Alfa global	Bq/L	0,1	-	0,1	0,1
	Beta global	Bq/L	1,0	-	1,0	1,0
PARÂMETROS MICROBIÓTICOS	Coliformes Fecais	nº/100 mL	0	-	0	0
	Coliformes Totais	nº/100 mL	0	-	0	0
	Escherichia coli	nº/100 mL	0	-	0	0

1 - Organização Mundial de Saúde
2 - Decreto Federal 79.637-09.03.77, Port. 56, BBS-13.03.89
3 - Portaria 36 do Ministério da Saúde de 19.01.90
4 - Portaria nº 1.469 do Ministério da Saúde de 02.01.01
(*1) - Unidade Hazen (mg Pt-Co/L)
(*2) - Não Objetável
(*3) - Unidade Nefelênica de Turbidez
(*4) - Sólidos Totais Dissolvidos
(*5) - Heptacloro apóxido

T3668
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP

5.4.2.2. Água para Indústria

Há um grande número de usos industriais para a água, cada um apresentando exigências específicas, pelo que se torna difícil relacionar critérios ou padrões para todas essas variedades de uso.

Por outro lado, não existe no Brasil nenhum padrão para o uso industrial da água, provavelmente em função da diversidade de exigências que as especificidades de cada indústria apresenta.

Para indústrias que utilizam caldeiras, as exigências quanto à salinização da água dependem da pressão utilizada na caldeira, sendo tão maiores essas exigências quanto maior for a pressão, conforme indicado no Quadro 5.10, extraído de Logan (1965)

QUADRO 5.10 - VARIAÇÃO NA TOLERÂNCIA DE SALINIDADE EM FUNÇÃO DA PRESSÃO NA CALDEIRA

PARÂMETRO	PRESSÃO NA CALDEIRA - kg/cm^2			
	0 – 10	11-17	18-28	> 28
Turbidez	20	10	5	1
Cor	80	40	5	2
Oxigênio consumido	20	10	5	1
Dureza	80	40	10	2
Razão $Na_2SO_4 : Na_2CO_3$	1:1	2:1	3:1	3:1
Óxido de alumínio	5	0,5	0,05	0,01
Sílica	40	20	5	1
Bicarbonato	20	20	5	0
Carbonato	200	100	40	20
Hidróxido	50	40	30	15
Sólidos totais	500-3000	500-2500	100-1500	50
pH máximo	8,0	8,4	9,0	9,6

Deve finalmente ser observado o caráter de corrosão e de incrustação das águas para qualquer uso industrial, que pode ocorrer nas seguintes condições:

Corrosão:
- pH muito baixo (< 5,0)
- oxigênio dissolvido superior a 2 mg/L
- sólidos totais dissolvidos > 1.000 mg/L
- dióxido de carbono > 50 mg/L
- cloretos > 500 mg/L

Incrustação: - dureza de carbonato > 300 mg/L
- ferro total > 1,0 mg/L
- manganês total > 1,0 mg/L
- pH muito maior que 7,0 (>8,0)

Segundo as condições acima, nenhuma água desse município é corrosiva e apenas algumas oferecem condições de provocar incrustação de ferro ou de manganês.

5.4.2.3. Águas para irrigação

Para os diversos tipos de irrigação, foi escolhido no presente trabalho o método de classificação das águas utilizado pelo United States Salinity Laboratory – USSL, in Logan (1965), que divide as águas em 16 classes, levando em consideração o risco de salinidade, definido pela condutividade elétrica e o risco de sódio, representado pelo SAR (sódium adsorption ratio). O SAR é definido pela seguinte expressão, utilizando os íons em meq/L

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})/2}}$$

Os valores de SAR calculados para todas as análises presentemente estudadas acham-se relacionados no Anexo 3.3. Nos gráficos das figuras 5.15 e 5.16 foram plotadas as águas resultantes da consistência de dados físico-químicos.

Nota-se que muitos pontos não foram plotados por terem caído fora desse gráfico, que tem sua escala horizontal iniciando com a condutividade de 100 μmhos/cm. Assim, criamos uma nova categoria nesse gráfico, denominada **C0-S1** para abrigar todos os pontos com condutividade inferior a 100 μmhos/cm e SAR inferior a 10.

No anexo 3.3. todas as análises acham-se classificadas, variando sempre entre CO-S1 e C1-S1. Ambas as classes permitem o uso de suas águas em todas as culturas, excetuando as extremamente sensíveis ao Na, como pêssego e damasco.

Ainda assim, pode-se notar que 37% das águas de Belo Horizonte se enquadram na classe CO-S1 possuindo, portanto, características melhores para irrigação do que a melhor classe do sistema USSL.

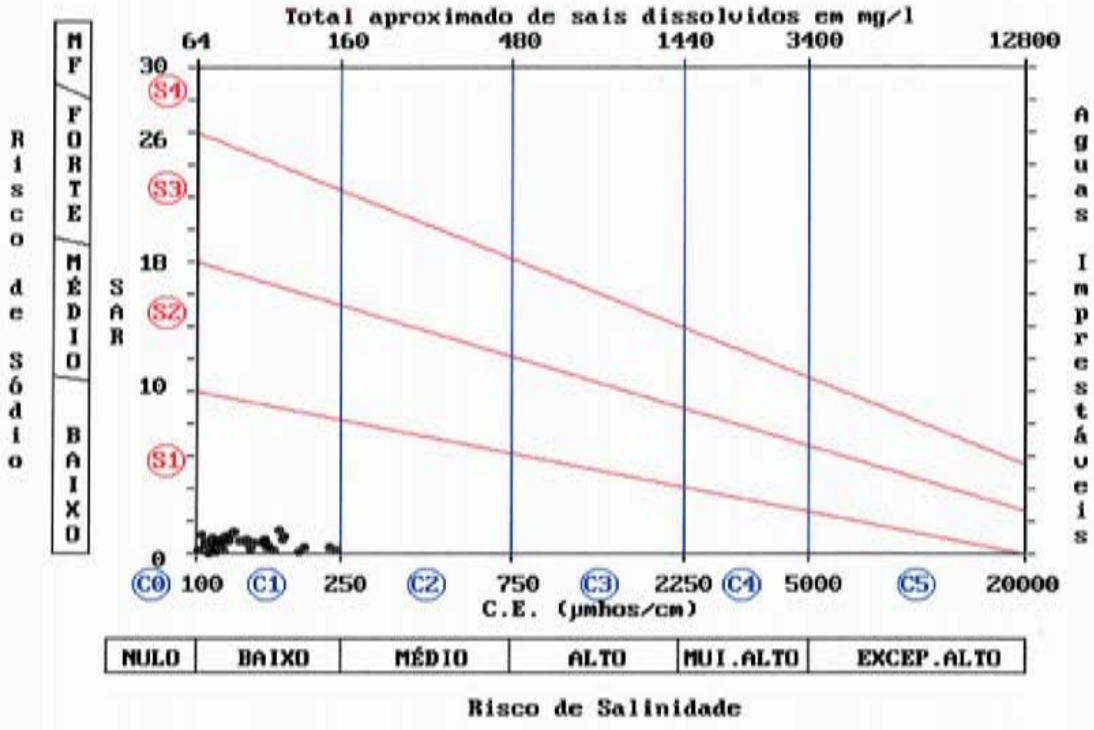


FIGURA 5.15 - Gráfico de Salinidade do U.S.S.L. para classificação das água subterrâneas do Complexo Belo Horizonte quanto ao uso para irrigação.

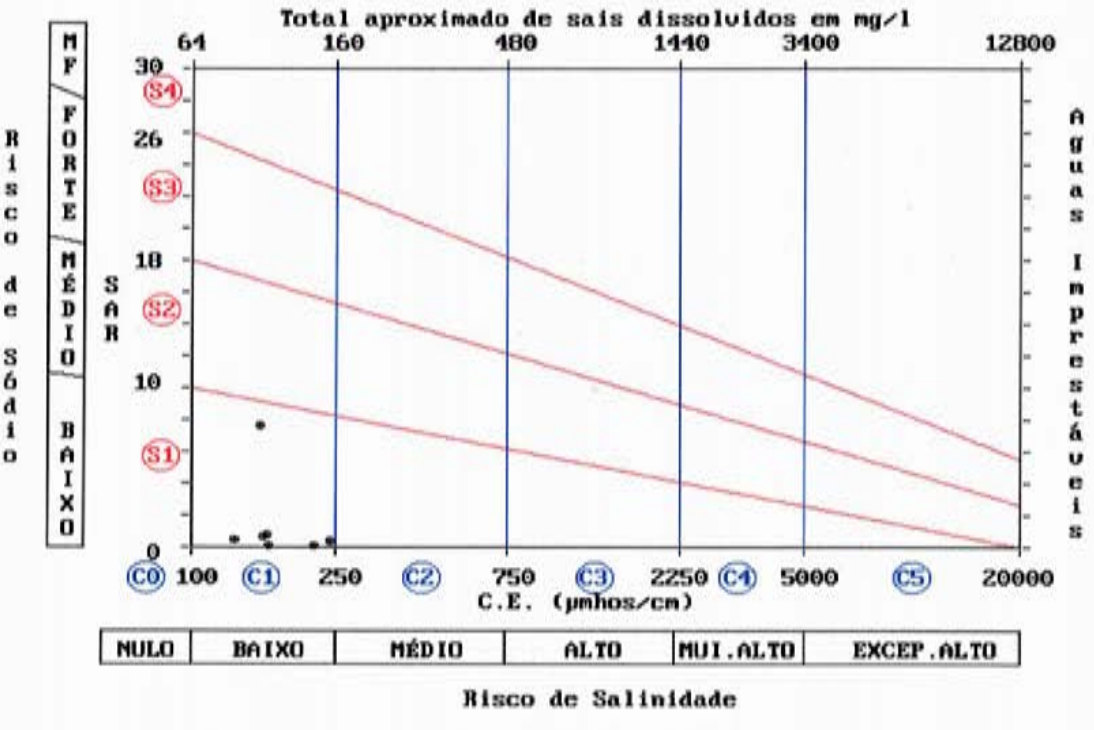


FIGURA 5.16 - Gráfico de Salinidade do U.S.S.L.para classificação das água subterrâneas do Supergrupo Minas quanto ao uso para irrigação

5.5. ANÁLISE CONCLUSIVA SOBRE A HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE BELO HORIZONTE

De uma maneira geral, é muito boa a qualidade das águas subterrâneas do município de Belo Horizonte, principalmente em se tratando de aqüíferos fissurais.

As médias para os sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica de respectivamente 116,78 mg/L e 135,55 μmhos/cm são inferiores às médias registradas para todo o Estado de Minas Gerais, que são de 259,96 mg/L e 330,48 μmhos/cm (Souza, 1995) e muito inferiores às registradas no nordeste do Brasil, que são 2.281,28 mg/L e 2.737,55 μmhos/cm (Costa, 1995) respectivamente.

Isso vem refletir os efeitos das condições climáticas e morfológicas regionais, que propiciam uma contínua renovação das águas subterrâneas, impedindo a sua progressiva salinização pelo ataque aos minerais que constituem essas rochas.

Por outro lado, os resultados hidroquímicos vieram ratificar as informações exaradas sobre a hidrogeologia dessa região, apresentadas no capítulo anterior do presente trabalho.

Com efeito, os poços localizados nas litologias do Grupo Sabará revelaram as maiores médias de sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, cloretos e até dureza em relação às demais litologias. Tal fato é conseqüente da maior dificuldade de percolação das águas ao longo das fraturas de reduzida abertura que caracterizam essas litologias (xistos e filitos), o que impede uma melhor renovação de suas águas com o aumento da concentração de sais dissolvidos.

Por sua vez, os quartzitos das formações Cercadinho e Cauê foram responsáveis pelas melhores águas desse município, em função da constituição mineralógica dessas rochas e da resistência à alteração desses minerais.

A principal conseqüência da boa qualidade revelada para as águas desse município é a factibilidade de sua utilização para qualquer finalidade, inexistindo qualquer restrição para o consumo humano e apenas restrições isoladas e localizadas para alguns tipos de indústrias.

6. OCUPAÇÃO DO ESPAÇO URBANO

A forma de ocupação do espaço pelo homem em uma área urbana tem grande implicação na fenomenologia do processo de contaminação das águas subterrâneas, que será abordado nos capítulos seguintes.

A contaminação resulta de uma série de eventos que se iniciam no ***agente poluidor,*** passa pelo ***transporte do produto contaminante*** e termina no ***receptor***, este último representado pelo homem e animais que com ele dividem o espaço urbano.

Assim, faz-se necessário conhecer bem as relações existentes entre os dois extremos dessa cadeia no que tange à ocupação do espaço urbano.

A cidade de Belo Horizonte, a exemplo de Brasília, foi planejada e criada com o objetivo de sediar a capital do Estado de Minas Gerais, constituindo-se por isso, não apenas uma das mais novas capitais entre os estados brasileiros mais antigos, mas, também, aquela em que o traçado de suas ruas caracteriza-se por uma disposição geometricamente bem definida, com largas avenidas cortadas transversal e obliquamente por extensas ruas muito bem arborizadas.

6.1. DIVISÃO TERRITORIAL E ADMINISTRATIVA

A Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH – integra 33 municípios que são vistos na figura 6.1, totalizando uma área de 9.179,08 km^2. Desses, 8 são limítrofes ao município de Belo Horizonte, que possui uma área de 335,5 km^2.

O município de Belo Horizonte acha-se dividido em 9 regiões administrativas, vistas no respectivo mapa dessa figura. O Quadro 6.1 apresenta a extensão de cada uma dessas regiões, bem como o número de domicílios.

Por sua vez, essas regiões acham-se divididas em 83 Unidades de Planejamento, que agregam 427 bairros.

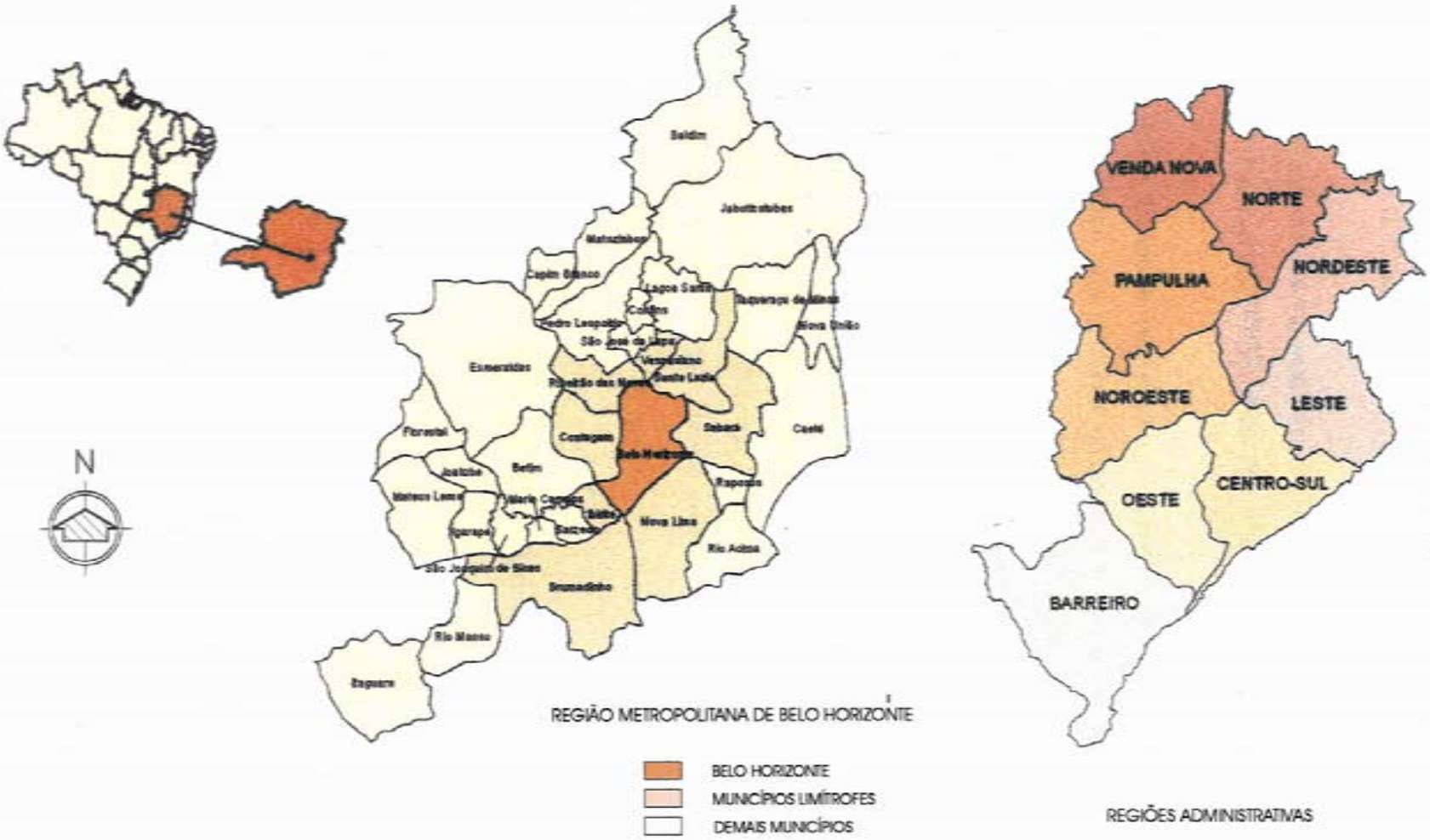


FIGURA 6.1

DIVISÃO POLÍTICA E ADMINISTRATIVA DE BELO HORIZONTE

QUADRO 6.1 - EXTENSÃO E DOMICÍLIOS DAS REGIÕES ADMINISTRATIVAS DE BELO HORIZONTE

UNIDADE ADMINISTRATIVA	ÁREA - km²	NÚMERO DE DOMICÍLIOS	DOMICÍLIO/km²
BARREIRO	55,14	51.861	940,53
CENTRO-SUL	32,63	69.836	2.140,24
LESTE	28,89	63.715	2.205,43
NORDESTE	39,86	61.037	1.531,28
NOROESTE	38,14	86.120	2.258,00
NORTE	34,32	35.026	1.020,57
OESTE	32,10	62.117	1.935,10
PAMPULHA	46,81	25.561	546,05
VENDA NOVA	27,61	45.404	1.644,47
TOTAIS/MÉDIA	**335,50**	**500.677**	**1.492,33**

Fonte: IBGE – Censo Demográfico de 1991
Dados trabalhados pelo DIT/SMAL – PBH

6.2. CARACTERÍSTICAS DA OCUPAÇÃO HUMANA

Apesar do crescente desenvolvimento experimentado pelo município de Belo Horizonte a partir de 1935, não ocorreu uma variação constante na taxa de sua ocupação ao longo desses anos, conforme pode ser visualizado no Quadro 6.2.

Com efeito, o período áureo da ocupação desse município foi entre 1935 e 1950, quando ocorreu, em média, um incremento de 13,78% ao ano. A partir desse ano o incremento foi só reduzindo, tornando-se insignificante a partir da década de 80.

Essa redução progressiva da taxa de incremento demográfico deveu-se às trocas populacionais entre o município de Belo Horizonte e os municípios da área metropolitana.

Com a intensificação do processo de urbanização e conurbação de Belo Horizonte com sua periferia metropolitana, as trocas populacionais envolvendo esses espaços aumentaram de forma

impressionante a partir dos anos 70, materializando um amplo processo de desconcentração demográfica já iniciada na década anterior.

QUADRO 6.2 - DENSIDADE DEMOGRÁFICA DE BELO HORIZONTE

ANO	POPULAÇÃO	DENSIDADE DEMOGRÁFICA	INCREMENTO - %	
			NO PERÍODO	NO ANO
1920	55.000	166,55	-	-
1935	115.000	348,55	109,09	7,27
1950	352.724	1.068,12	206,72	13,78
1960	693.328	2.099,53	96,56	9,65
1970	1.235.030	3.739,91	78,13	7,81
1980	1.780.855	5.392,77	44,19	4,41
1991	2.020.161	6.117,44	13,34	1,21
1996	2.091.371	6.333,07	3,52	0,70

Fonte: IBGE - PBH

Tais trocas evidentemente privilegiaram alguns municípios sendo, portanto, seletivas, obedecendo a fatores econômicos, sociais e geográficos. O fato é que muitos municípios entre os que se aproximam de Belo Horizonte têm recebido muito mais população de Belo Horizonte do que enviado.

Assim é que, na década de 70, emigraram 159.643 habitantes de Belo Horizonte para os municípios da área metropolitana, sendo de apenas 18.070 o fluxo migratório no sentido contrário, acusando nesse período um saldo negativo para Belo Horizonte nesse processo de troca de 141.573 habitantes. Na década de 80 esse saldo negativo foi ainda maior, ou seja, de 213.291 habitantes. Nessa mesma década, Belo Horizonte obteve ainda um saldo negativo em trocas populacionais com pólos regionais de Belo Horizonte, afastados desse município, como Montes Claros, Juiz de Fora e Uberlândia, que chegou a 32.432 habitantes, segundo dados do IBGE.

Esse saldo negativo de fluxo que tem influenciado na redução da taxa de crescimento populacional de Belo Horizonte tem, entre outras causas, o desemprego para a mão-de-obra

desqualificada que ocorre na capital e o mais baixo custo de vida oferecido pelas cidades interioranas.

6.3 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Com o ritmo de expansão das últimas décadas o município de Belo Horizonte teve sua zona rural progressivamente substituída pela ocupação urbana e hoje essas zonas transformaram-se em áreas de proteção ambiental, ocupando faixas que delimitam o município a NE, nas proximidades do Rio das Velhas e a SE, ao longo da encosta da Serra do Curral, conforme pode ser observado no mapa da figura 6.2, onde inexiste arruamento nessas áreas.

No mapa de Áreas Verdes, a ser apresentado na figura 6.3, essas áreas são classificadas em função de seu zoneamento ambiental, pelo que difere um pouco a indicação da área verde nesses dois mapas.

Na zona efetivamente habitada o uso e ocupação do solo incluem as seguintes áreas:

- áreas residenciais
- áreas de uso público
- áreas industriais
- áreas verdes
- áreas de lagos e lagoas

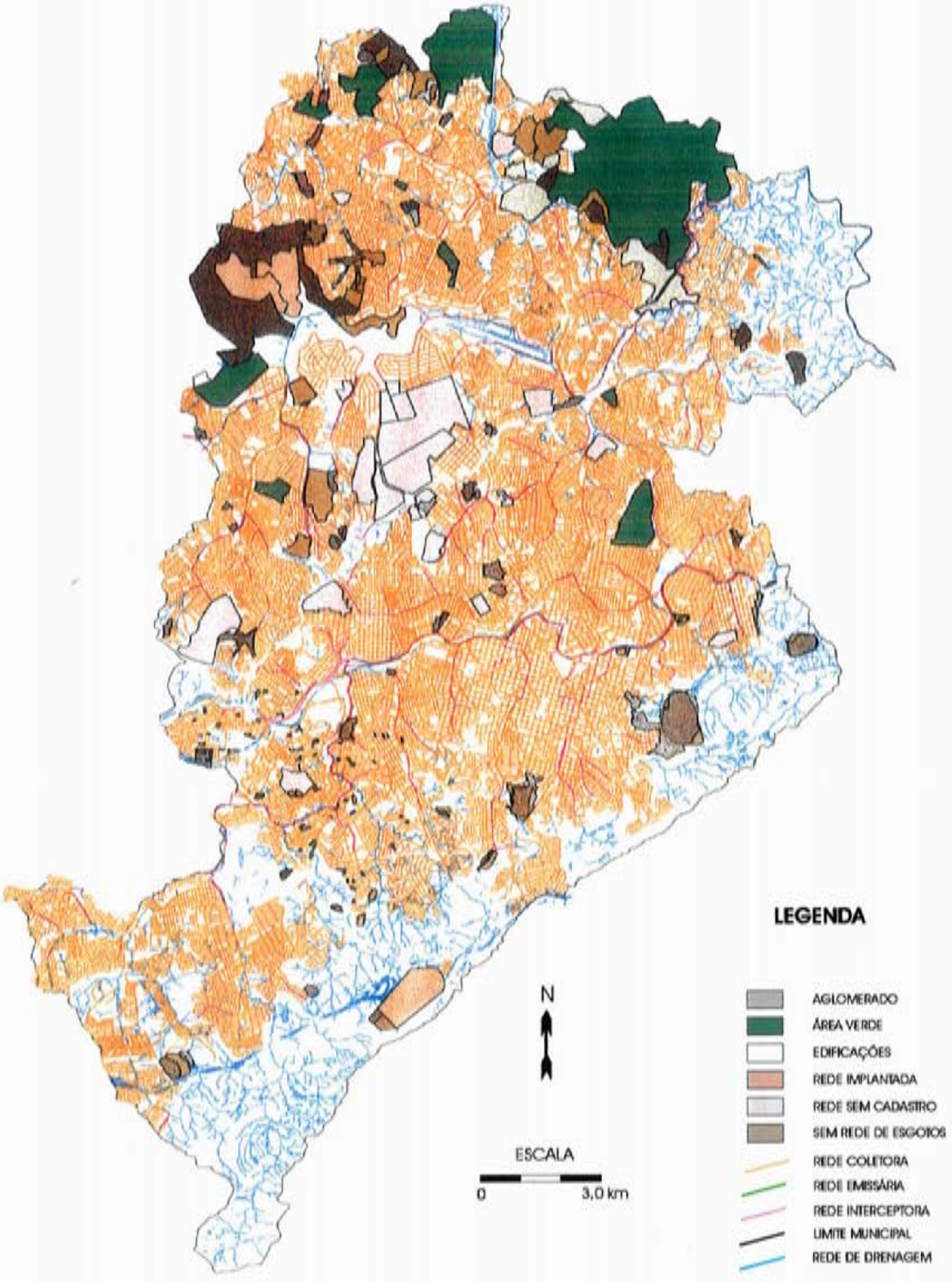
As características e dimensões dessas áreas serão a seguir comentadas.

6.3.1. Áreas Residenciais

Essas áreas incluem quatro sub-áreas, a saber: zona de classe média/alta; zona de classe média/baixa; zona de favelas; e zona de aglomerados.

A **zona de classe média/alta** inclui os domicílios residenciais instalados em prédios e casas isoladas de tamanho e porte variável.

As fotos 6.1 e 6.2 mostram uma visão geral desse tipo de habitação, caracterizada por uma infra-estrutura típica de uma metrópole.



FONTE: COPASA-MG

FIGURA 6.2

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E
REDE DE ESGOTOS DE BELO HORIZONTE

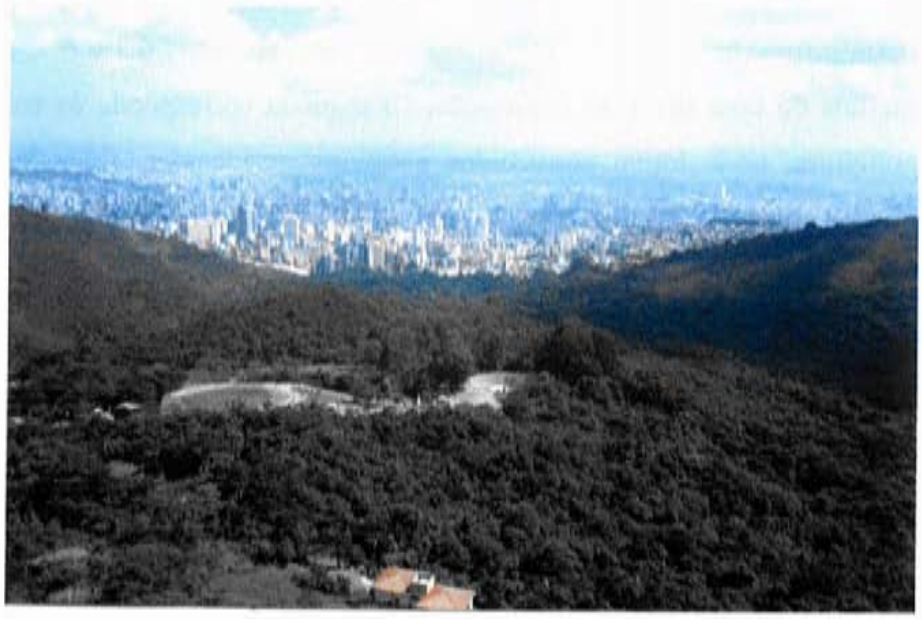


FOTO 6.1 - Em primeiro plano é visto o Parque das Mangabeiras e ao fundo a cidade de Belo Horizonte numa zona em que predominam os grandes edifícios.

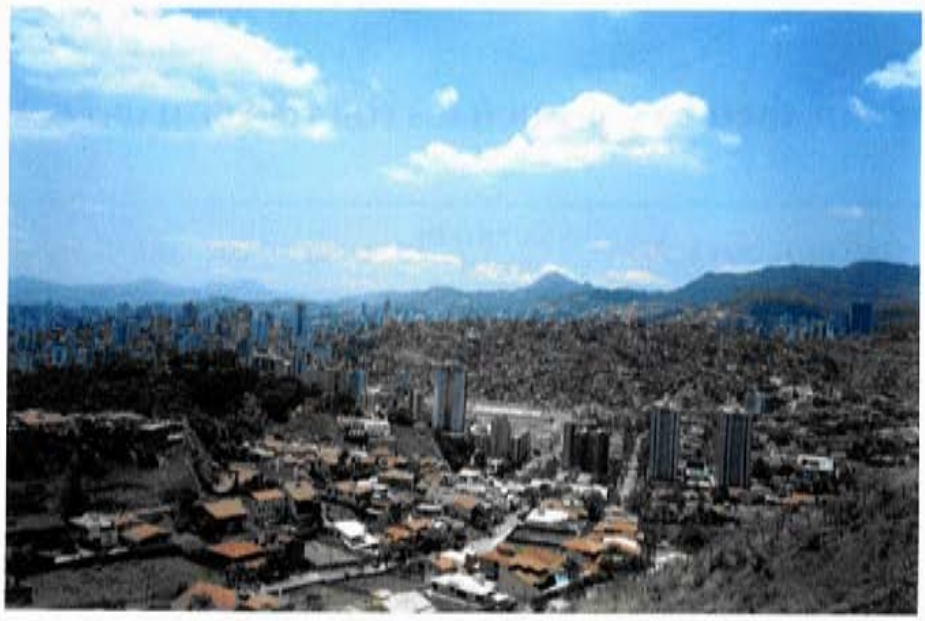


FOTO 6.2 - Em primeiro plano, uma zona com predomínio de casas residenciais, com dois grandes contrastes ao fundo: predomínio de grandes prédios a esquerda e uma grande favela a direita (Papagaio)

A **zona de classe média/baixa** inclui dois tipos de habitação: a primeira corresponde às áreas periféricas onde em grande parte os domicílios se encontram clandestinos em relação à prefeitura municipal. Nessa zona é comum a disposição caótica dos domicílios ao longo de cabeceiras de vales, com uma infra-estrutura deficiente, como mostrado nas fotos 6.3 e 6.4, embora existam muitos domicílios de bom nível de construção; a segunda corresponde às áreas de interesse social da prefeitura, onde foram construídos conjuntos residenciais financiados por órgãos públicos.

A **zona de favelas** corresponde aos núcleos residenciais ocupados por habitantes de baixa ou nenhuma renda, onde as casas de baixíssimo nível (muitas são de madeira) são conjugadas formando becos estreitos e tortuosos. Essas favelas ocupam geralmente os morros e oferecem um grande contraste com as áreas limítrofes ocupadas pelos domicílios acima caracterizados, conforme mostrado na foto 6.2.

Quando duas ou mais favelas se encontram unidas fisicamente, dá-se ao conjunto a denominação de **aglomerado** e, igualmente às favelas e aos conjuntos habitacionais, integram o sistema de habitação social da PBH, sob o controle da Secretaria Municipal da Habitação.

O Quadro 6.3 apresenta a quantificação dos diferentes tipos de habitações no município de Belo Horizonte. O primeiro grupo de casas e apartamentos inclui as zonas de classes média/alta e média/baixa, essas últimas situadas na periferia da cidade.

QUADRO 6.3 - DOMICÍLIOS POR TIPO DE HABITAÇÃO

TIPO DE HABITAÇÃO	NÚMERO DE DOMIC.	POPULAÇÃO	ÁREA – km²	%
CASAS E APARTAMENTOS	443.138	1.610.212	232,24	93,50
CONJUNTOS HABITACION.	27.646	117.040	4,95	2,00
FAVELAS	89.220	360.238	7,39	3,00
AGLOMERADOS	934	3.881	3,72	1,50
TOTAIS	**560.938**	**2.091.371**	**248,27**	**100,00**

Fonte: PBH/URBEL – 1998

6.3.2. Áreas de uso público

Essas áreas incluem aquelas que são ocupadas por concentração de prédios públicos ou utilizadas por serviços de infra-estrutura ou de lazer.

FOTO 6.3 - Ocupação caótica de casas no bairro Jardim dos Comerciários. Apesar do nível razoável das construções, falta infra-estrutura viária, inexistindo qualquer arruamento.

FOTO 6.4 - Bairro Engenho Nogueira, com boas casas ao longo de pequenos vales. A rua vista a direita da foto somente é acessada por pedestres

As principais áreas de uso público em função de sua extensão são as seguintes:

- Campus da UFMG
- Aeroporto da Pampulha
- Aero-Clube de Minas Gerais
- Estádios de futebol (Mineirão e Independência) e Ginásio de Esportes (Mineirinho)
- Jockey Clube de Belo Horizonte
- Estação ferroviária e área de oficinas da RFFSA
- Estação rodoviária
- Aterro Sanitário
- Parque de Exposição da Gameleira
- Cemitérios Bosque da Boa Esperança, Consolação, Parque da Colina, Paz, Bonfim e Saudade

6.3.3. Áreas Industriais

Embora existam ainda inúmeras pequenas indústrias distribuídas esparsamente em meio à área industrial, foram já constituídos 6 distritos industriais no município de Belo Horizonte, ocupando uma área total de 6,77 km^2, conforme será melhor discutido no capítulo 9.

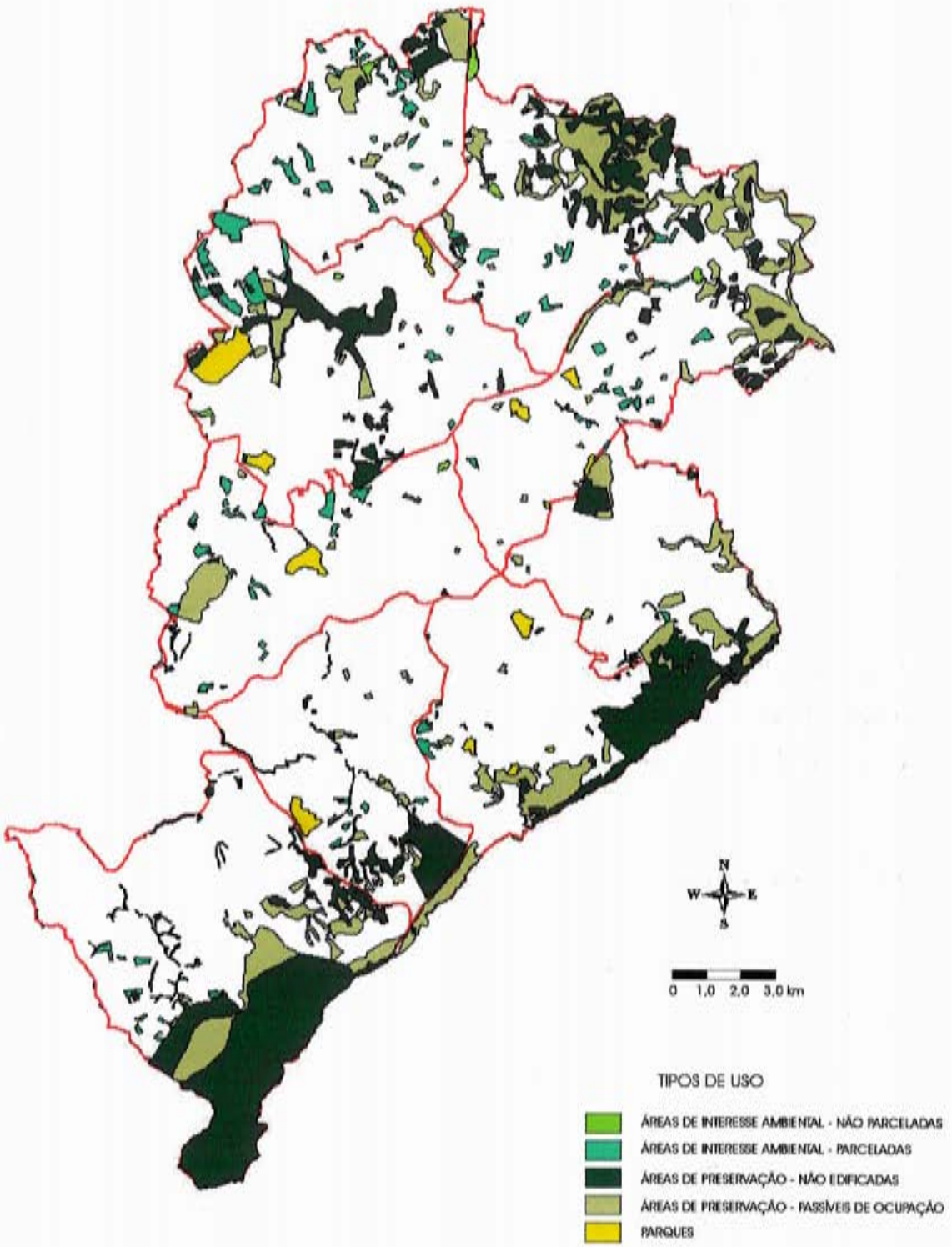
6.3.4. Áreas Verdes

Como áreas verdes estão incluídos os parques e jardins, bem como algumas áreas de preservação ambiental.

No mapa da figura 6.3 são mostradas algumas dessas áreas, podendo ser destacadas pela sua extensão as seguintes:

- Mata da UFMG (foto 6.5)
- Horto Florestal (foto 6.6)
- Jardim Zoológico
- Parque da Mangabeira (foto 6.1)
- Parque Municipal (foto 6.7)

Esse mapa inclui como área verde todas as áreas classificadas no presente estudo como áreas de uso público, ocupando todo o conjunto uma extensão de 75,76 km^2.



FONTE: PLANO DIRETOR DE 1996 - SMPL
PBH - PRODABEL - DEZEMBRO/2001

FIGURA 6.3

ÁREAS VERDES DE BELO HORIZONTE

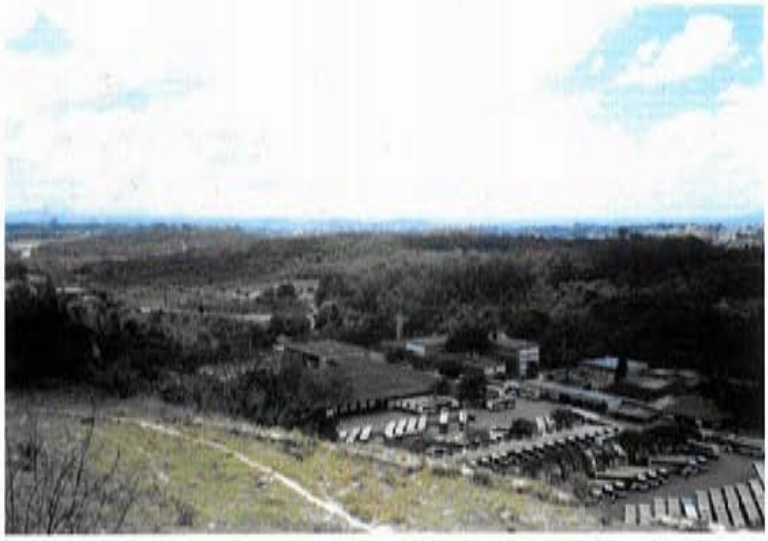


FOTO 6.5 - Mata da UFMG, uma das poucas áreas de preservação arbórea primitivas nesse município

FOTO 6.6 - Horto existente no bairro Cidade Nova, com inúmera diversidade florística muito bem conservada.

FOTO 6.7 - Parque Municipal existente no centro da cidade (Av. Afonso Pena vista no canto esquerdo da foto) com excelente cobertura vegetal

6.3.5. Áreas de lagos e lagoas

Existem pequenos lagos na região norte de Belo Horizonte, porém em termos de reservação hídrica e extensão superficial assume maior destaque a Lagoa da Pampulha, que ocupa 2,52 km^2 e se situa na Unidade Administrativa da Pampulha, região NW do município. Os rios, ribeirões e córregos do município possuem no total uma extensão de 218 km, o que corresponde a uma área em torno de 2,18 km^2, considerando como média a largura de 10 m para esses cursos d'água superficiais.

6.4. ARRUAMENTO

A caracterização das condições de arruamento em Belo Horizonte tem um duplo objetivo: definir as condições de acesso às moradias, como complemento da ocupação do uso do solo e subsidiar a análise sobre as possibilidades de infiltração de eventuais contaminantes ao longo dessas vias.

Nas áreas em que predominam as moradias de classe média/alta, todas as ruas são asfaltadas ou possuem calçamento com paralelepípedos de granito.

Nas zonas periféricas há dois tipos de situação: em alguns bairros e aglomerados as principais ruas encontram-se já asfaltadas e as demais ruas ainda são de terra, conforme mostrado na foto 6.8. Essas ruas têm condições de serem futuramente asfaltadas; Em outros bairros, onde a distribuição das casas é totalmente caótica, como mostrado na foto 6.3, ou apresentam um relevo acidentado, como mostrado na foto 6.4, não há a mínima possibilidade de serem asfaltados os acessos a tais moradias e até mesmo construir ruas de terra, como é o caso da foto 6.3.

6.5. INFRA-ESTRUTURA BÁSICA

6.5.1. Saneamento Básico

Como saneamento básico serão caracterizados os serviços de abastecimento d'água, coleta e destinação dos esgotos e coleta e destinação do lixo.

FOTO 6.8 - Bairro Tupis na zona periférica da cidade, mostrando os diferentes tipos de arruamento existentes nessas áreas

FOTO 6.9 - Falta de saneamento urbano no bairro Jardim dos Comerciários, com ligações clandestinas da rede de água e com com esgotos a céu aberto.

6.5.1.1. Abastecimento d'água

O abastecimento de água à população de Belo Horizonte é de responsabilidade da Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA – ligada ao governo estadual.

Pelos dados da COPASA, a situação do abastecimento de água em Belo Horizonte em fevereiro de 2002 era a seguinte:

População do município:	2.284.990 habitantes
População atendida através de rede de água encanada:	2.283.045 habitantes
Percentual da população atendida:	99,9 % (praticamente 100%)
Número de ligações:	472.474
Número de economias:	807.390
Extensão toda da rede de água:	5.132.092 m

Embora indicado como 100% o abastecimento por rede pública nesse município, tem sido muito deficiente esse atendimento na zona periférica, onde a distribuição é das mais caóticas e, na maior das vezes, clandestina, como mostrado na foto 6.9.

Apesar dessas deficiências, não foi constatada em nenhum bairro periférico ou aglomerado a captação de água subterrânea através de cisternas ou poços amazonas para consumo humano, o que, de certa forma, dificultou a coleta de informações para o presente estudo.

6.5.1.2. Coleta e destinação de Esgotos

A coleta de esgotos é feita nesse município também pela COPASA, que apresenta o seguinte quadro para o sistema atual de coleta de esgotos (dados de fevereiro de 2002).

População atendida por rede de esgotos:	2.074.782 habitantes
Percentual da população atendida:	90,8 %
Número de ligações:	420.060
Número de economias:	741.999
Extensão total da rede de esgotos:	3.598.941 m

No mapa da figura 6.2, fornecido por esse órgão estatal, acha-se indicada a rede coletora desses esgotos, que praticamente coincide com todo o arruamento da zona urbana.

Nas áreas onde não há rede de esgotos o esgotamento das águas servidas é feito pelo próprio morador, que simplesmente deixa uma saída dessas águas para a rua ou as canaliza para um córrego quando sua casa fica às margens de qualquer drenagem superficial, como mostrado na foto 6.9.

Quanto à destinação dos esgotos coletados pela COPASA, é sempre o mesmo: despejo *in natura* nos córregos e rios dessa cidade. Assim é que, as fotos 3.3 e 2.4 mostram despejos de esgoto no rio Arrudas, tanto no seu trecho revestido como não revestido e a foto 6.10 mostra uma galeria de esgotos vertendo esses efluentes no Ribeirão do Onça.

Ao final de 2001 a COPASA inaugurou a Estação de Tratamento do Arrudas (foto 6.11), porém sua localização fica próxima ao limite do município de Sabará, ou seja, ao final do percurso desse rio no município de Belo Horizonte.

6.5.1.3. Coleta e destinação do Lixo

A coleta de lixo nessa cidade é de responsabilidade da Superintendência de Limpeza Urbana – SLU – da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte.

Ainda não existe qualquer tipo de coleta seletiva, sendo esse serviço realizado com auxílio de caminhões apropriados como mostrado na foto 6.13 e que procede diariamente a coleta nas residências, comércio, pequenas indústrias e hospitais.

Como essa coleta nem sempre é diária nos bairros periféricos, há sempre a ocorrência de pequenos lixões localizados, onde o lixo é despejado ao longo das encostas.

Todo o lixo coletado é depositado em um aterro sanitário visto nas fotos 6.12 e 6.13, não havendo nessa deposição qualquer separação entre os lixos de diferentes procedências, sendo indistintamente misturados os materiais provenientes de residências, hospitais e de algumas indústrias.

6.5.2. Energia Elétrica

A distribuição de energia elétrica em Belo Horizonte é de responsabilidade da Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG

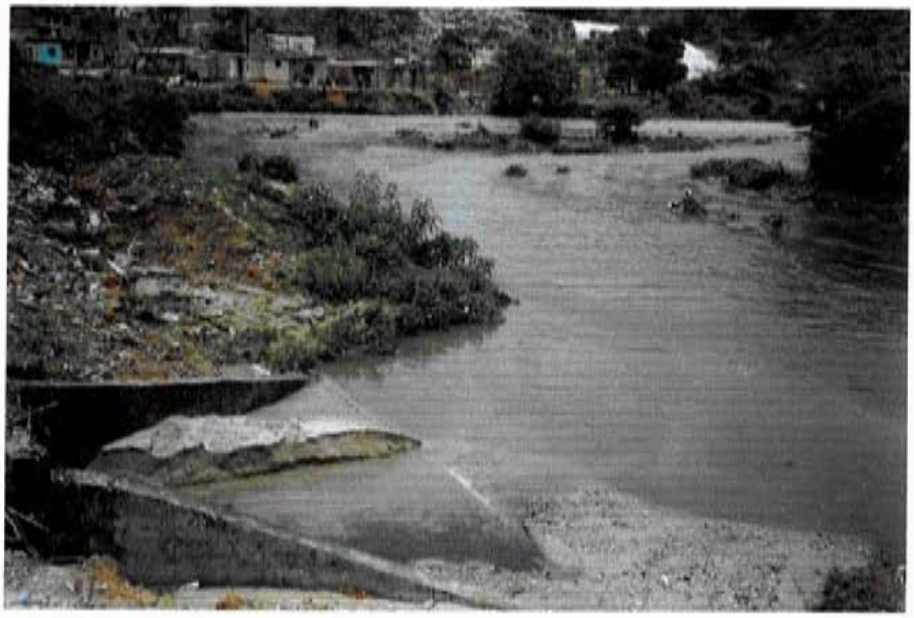


FOTO 6.10 - Saída de uma galeria de esgotos no Ribeirão do Onça, no bairro Belmonte.

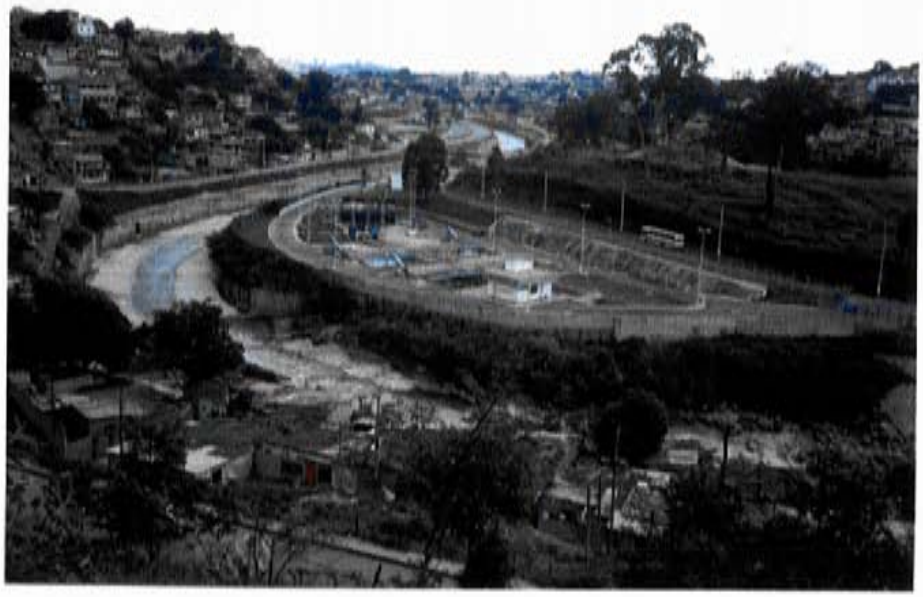


FOTO 6.11 - Estação de tratamento do Rio Arrudas, que é visto em calha de concreto até esse ponto, passando a correr na sua calha natural a jusante desse local

FOTO 6.12 - Visão geral do Aterro Sanitário de Belo Horizonte, com extensa área já preenchida e uma área a esquerda da foto a ter seu preenchimento iniciado

FOTO 6.13 - Aspecto da deposição de lixo no aterro sanitário

O maior consumo é o residencial, que apresenta 45% do consumo total, embora seja baixo o consumo *per capta* com uma média de 217 Mwt/ano.

O consumo mais elevado por consumidor é o industrial, com média anual de 5.655 Mwt, vindo a seguir o comércio, com média anual de 956 Mwt.

6.5.3. Comunicações

O sistema de comunicações em Belo Horizonte é feito pela Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos – EBCT – que dispõe dos seguintes serviços nessa cidade:

- Agência de correios:	16
- Agência filatélicas:	1
- Agência de correio franqueada:	40
- Posto de venda de produtos:	668
- Caixa de coleta:	555
- Centro de distribuição domiciliar:	14
- Centro operacional (encomendas):	1
- Centro de triagem:	1
- Centro de serviços telemáticos:	1
- **Total de serviços prestados:**	**1.297**

PARTE 2

VULNERABILIDADE X CARGAS CONTAMINANTES

7. CONCEITUAÇÃO

Caracterizados nos capítulos precedentes os meios natural e antrópico que interferem na definição qualitativa e quantitativa das águas subterrâneas no município de Belo Horizonte, serão abordados nos capítulos que se seguem os problemas relacionados com a possibilidade de contaminação desses recursos hídricos.

7.1. NÍVEL DE ABORDAGEM

A abordagem de um problema tão complexo e de origem tão diversificada como é a contaminação de água subterrânea, pode variar bastante em função do nível em que será aprofundada a pesquisa sobre tal tema.

Esse nível, por sua vez, depende de uma série de fatores relacionados com o estudo, entre os quais podem ser destacados: o objetivo da pesquisa, a extensão da área estudada, a disponibilidade de dados e a alocação de recursos financeiros.

O Quadro 7.1 apresenta uma classificação de níveis de avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas, resultando de algumas modificações procedidas na classificação proposta por Foster & Hirata (1993).

A mais importante modificação residiu na inversão da ordem entre os níveis IV e V, por entendermos que o monitoramento deve ser a última etapa de estudos, pois geralmente é realizada com o objetivo de controlar a eficácia de uma ou mais soluções dadas após diagnosticado o problema, pelo que deve ser antecedida de uma fase de estudos em nível de detalhe.

Ainda na coluna de "nível de avaliação", introduzimos os termos *semiqualitativo, qualitativo e semiquantitativo*, objetivando diferenciar melhor os objetivos dos estudos desses níveis.

Criamos a coluna "caracterização do risco" visando complementar essa caracterização que foi apresentada na classificação original apenas para os dois primeiros níveis.

Finalmente, aumentamos a escala para os níveis de detalhamento e de monitoramento por envolver geralmente áreas mais localizadas, que requerem escalas de maior detalhe.

QUADRO 7.1 - NÍVEIS DE AVALIAÇÃO DE RISCO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

(Foster & Hirata – 1993 – modificado)

<table>
<tr><th>NÍVEL DE AVALIAÇÃO</th><th>CARACTERI-ZAÇÃO DO RISCO</th><th colspan="3">METODOLOGIA DE PESQUISA</th><th>REGIÃO ESTUDADA E ESCALA DE TRABALHO</th></tr>
<tr><td>I – RECONHECIMENTO PRELIMINAR SEMI-QUALITATIVO</td><td>DEFINIÇÃO DA EXISTÊNCIA</td><td rowspan="2">BASEADO EM DADOS EXISTENTES</td><td rowspan="2">SEM AMOSTRA-GEM</td><td rowspan="3">SONDAGENS E ENSAIOS DESNECES-SÁRIOS</td><td>ESTADO OU PROVÍNCIA
1:250.000 a 1:500.000
(dados a 10 km)</td></tr>
<tr><td>II - AVALIAÇÃO SISTEMÁTICA QUALITATIVA</td><td rowspan="2">DEFINIÇÃO DO GRAU</td><td>MUNICÍPIO
1:50.000 a 1:100.000
(dados de 1 a 2 km)</td></tr>
<tr><td>III – INVESTIGAÇÃO PRELIMINAR DE CAMPO SEMI-QUANTITATIVO</td><td rowspan="3">REQUER COLETA DE DADOS DE CAMPO</td><td rowspan="3">REQUER AMOSTRA-GEM E ANÁLISES</td><td>MUNICÍPIO
1:25.000 a 1:50.000
(dados de 250 a 500 m)</td></tr>
<tr><td>IV - INVESTIGAÇÃO DETALHADA DE CAMPO</td><td rowspan="2">QUANTIFICA-CAÇÃO E REMEDIAÇÃO</td><td>REQUER SONDAGENS E ENSAIOS "IN SITU"</td><td>LOCAL
≥ 1:25.000
(dados de 50 a 200 m)</td></tr>
<tr><td>V - CONTROLE E MONITORAMENTO</td><td>LOCAL
1:5.000 a 1:10.000
(dados de 20 a 100 m)</td></tr>
</table>

Pela classificação apresentada, a presente pesquisa se enquadra no nível III – Investigação Preliminar de Campo Semiquantitativo, principalmente em função dos objetivos propostos para esse estudo e da extensão da área pesquisada.

Nesse nível, o grau de risco de contaminação seria definido semiquantitativamente, pois tal definição teria que variar muito em função da qualidade dos dados disponibilizados nas diferentes atividades responsáveis pela eventual contaminação dos aqüíferos locais.

Pela metodologia de pesquisa dessa classificação, não seria necessária a execução de sondagens e de ensaios "in situ", todavia, algumas atividades contaminantes não apresentavam qualquer possibilidade para que fosse perscrutada a sua influência para as águas subterrâneas, pela inexistência em suas proximidades de qualquer meio de coletar amostras dessas águas. Exemplos dessa situação são os cemitérios, os esgotos a céu aberto incluindo os rios e córregos locais e os lixões desativados. Nesses casos foram executadas sondagens para coleta de amostras e realização de ensaios de condutividade hidráulica.

Quanto à escala dos mapas apresentados, foi adotada uma das recomendadas para o nível III da classificação de risco para a elaboração desses mapas (1:50.000), permitindo uma melhor

trabalhabilidade dos dados manipulados. Após sua conclusão, cada mapa teve sua escala reduzida para 1:130.000 a fim de evitar o dobramento do mapa, aumentando demasiadamente o volume do texto ou obrigando a criar um volume separado para os mapas apresentados.

7.2. CONCEITO DE CONTAMINAÇÃO

A degradação ambiental tem sido motivo de preocupação em todo o mundo, entendendo-se como tal, a modificação do meio natural - atmosfera, solo ou água – pela atuação antrópica nas suas mais diferentes formas e intensidade.

É, todavia, muito comum utilizar-se indistintamente os termos *poluição* e *contaminação* quando se aborda uma grande parte dessa degradação ambiental, pelo que se torna necessário proceder a uma diferenciação nesses conceitos.

Etimologicamente, *poluir* significa *sujar* (do latim *polluere*) e esse conceito foi inicialmente empregado para definir simplesmente as modificações nas características anti-estéticas da água, como suas propriedades físicas (cor e turbidez) ou organolépticas (odor e sabor). Com o decorrer do tempo surgiram muitas definições para poluição, não apenas com relação ao meio atingido (atmosfera, solo, água etc), como também em relação ao aspecto envolvido – sanitário ou ecológico (Barros et al, 1995).

Em termos de poluição hídrica, a definição de Klein (1957) é das mais científicas e completas, sendo utilizada até hoje com algumas modificações. Segundo esse pesquisador, "poluição é qualquer ato que cause ou induza características indesejáveis em qualquer curso d'água e afete, de maneira nociva, qualquer uso que normalmente se possa fazer do líquido".

Hoje, o termo *poluição hídrica* abrange três determinantes básicos, conforme conceituação adotada pela Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM (Barros et al, 1995):

I - introdução de substâncias artificiais e estranhas ao meio, como um produto tóxico despejado em um curso d'água, ou a proliferação de organismos patogênicos (que transmitem enfermidades) decorrente de despejos sanitários;

II - introdução de substâncias naturais estranhas ao meio hídrico, como substâncias minerais (silte, argila e areia) ou orgânicas (lodo);

III - alteração na proporção ou nas características dos elementos constituintes do próprio meio líquido, como a diminuição de oxigênio dissolvido ou a redução do pH em função de reações químicas entre a água e os materiais dissolvidos.

Os processos envolvidos nas diferentes fontes de poluição hídrica acima descritas são: ***contaminação*** para o caso I; ***assoreamento*** para o caso II; e ***eutrofização*** e ***acidificação*** para o caso III.

Conclui-se, assim, que *contaminação* é apenas um caso particular de *poluição*, sendo o processo responsável pelos maiores danos sanitários (principalmente relacionados com a saúde pública), embora também exerça grande influência sobre o meio ambiente em geral.

A contaminação resulta na degradação da qualidade de um corpo d'água (superficial ou subterrâneo) de forma a torná-lo impróprio para o consumo, podendo ser caracterizada de uma das seguintes formas (Foster et al, 1987):

Intencional - quando o sistema é projetado para disposição e/ou tratamento com infiltração no subsolo, tais como fossas sépticas, aplicação de efluentes no subsolo, poços de injeção etc.

Incidental - quando a descarga no subsolo não é controlada por atividades planificadas, como aterros sanitários, lagoas de efluentes, esgoto industrial e urbano, cultivo agrícola, lavagem de minérios, cemitérios, águas superficiais contaminadas etc.

Acidental - quando os sistemas de armazenamento ou transporte são projetados para não descarregarem no subsolo, exceto em caso de ruptura e fugas, como tanques de armazenamento e tubos sobre o terreno ou enterrados, transporte terrestre etc.

Clandestina - quando a contaminação é feita por práticas não autorizadas, como lixões, injeção em poços abandonados, disposição inadequada de resíduos sólidos industriais etc.

7.3. CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os depósitos hídricos subterrâneos estão sujeitos à contaminação das mais variadas formas retro mencionadas.

A probabilidade ou o risco de tal ocorrência depende fundamentalmente de dois fatores: presença e natureza de um agente contaminante; e susceptibilidade do aqüífero de ser afetado por esse contaminante.

Evidentemente, nem sempre a conjuminância desses dois fatores implica necessariamente em um risco de contaminação, apesar da aparente evidência do contrário. Isso porque, a atuação autodepuradora da zona não saturada em relação a alguns contaminantes nem sempre é previsível ou quantificável, principalmente quando não se possui um conhecimento detalhado da constituição e propriedades dessa zona.

O esquema conceitual de risco de contaminação proposto por Foster & Hirata (1993), reproduzido na figura 7.1, relaciona esses dois fatores, denominando de *vulnerabilidade* do aqüífero à susceptibilidade de ser o mesmo adversamente afetado pelas cargas contaminantes que possam estar presentes.

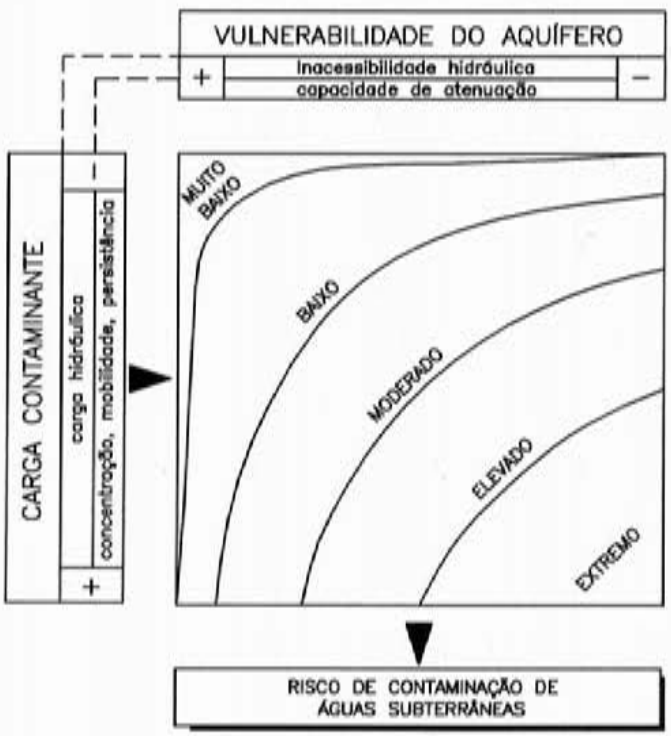


FIGURA 7.1 - ESQUEMA CONCEITUAL DE RISCO DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA
(MODIFICADO DE FOSTER, 1987)

7.3.1. Vulnerabilidade do Aqüífero

Conforme observado na figura 7.1, a vulnerabilidade do aqüífero constitui apenas uma das variáveis na análise de risco à contaminação das águas subterrâneas, prescindindo de qualquer significado quando analisado isoladamente, ou seja, sem a efetiva participação da carga contaminante eventualmente presente.

Segundo o esquema de Foster & Hirata, a vulnerabilidade de um aqüífero depende de dois fatores: inacessibilidade hidráulica e capacidade de atenuação.

A ***inacessibilidade hidráulica*** diz respeito à maior ou menor dificuldade de penetração de eventuais contaminantes em seu interior e é função das características geológicas e hidrogeológicas do meio analisado.

Assim, constituem elementos imprescindíveis para a definição dessa inacessibilidade os seguintes fatores, já caracterizados para a área estudada:

- tipificação dos aqüíferos
- natureza e espessura do meio não saturado (zona vadosa)
- presença e características das descontinuidades
- porosidade e condutividade hidráulica dos meios saturado e não saturado
- profundidade do nível de água subterrânea (freático ou piezométrico)

A inacessibilidade hidráulica é inversamente proporcional à vulnerabilidade do aqüífero. Assim, um aqüífero onde a espessura da zona vadosa é muito grande e sua constituição predominantemente argilosa possui uma elevada inacessibilidade hidráulica, sendo, por conseguinte, um aqüífero pouco vulnerável à contaminação. No lado oposto, estaria um aqüífero com nível freático pouco profundo e constituição predominantemente arenosa de sua zona vadosa.

As descontinuidades abertas como algumas fraturas, quando presentes na zona vadosa, influem negativamente na vulnerabilidade, reduzindo a inacessibilidade hidráulica desse meio.

A ***capacidade de atenuação*** do aqüífero refere-se ao conjunto de propriedades físicas, químicas e bióticas da zona não-saturada que podem isolada ou conjuntamente reduzir o acesso dos contaminantes infiltrados até a zona saturada, através de processos diversificados que podem eliminar, reduzir ou retardar o fluxo desses contaminantes.

Assim, a zona não-saturada pode constituir uma importante defesa natural contra a contaminação da água subterrânea, atuando como autodepuradora dos contaminantes nela infiltrados.

Quanto maior for a intensidade e diversidade da atuação dos processos acima referidos, maior será a capacidade atenuadora da zona não saturada, refletindo-se em uma baixa vulnerabilidade do aqüífero à contaminação.

Entre os processos que atuam na zona vadosa, retardando, reduzindo ou eliminando o fluxo de contaminantes nessa zona, podem ser citados os seguintes:

PROCESSOS FÍSICOS

a) Filtração Mecânica

A filtração mecânica corresponde a uma retenção do contaminante pelo solo em função da obstrução dos poros desse solo. A película obstrutora formada por partículas em suspensão, como argilas, algas e microorganismos, acumula-se em diferentes horizontes do solo, funcionando como um filtro para as partículas sólidas de eventuais contaminantes infiltrados posteriormente (Krone et al, 1958).

Esse processo funciona mais como retardamento da contaminação, possibilitando que o material retido seja posteriormente degradado pela ação de um processo químico, biológico ou radioativo. Caso isso não venha ocorrer, nada impede que uma maior carga hidráulica provoque o arraste do contaminante retido por essa filtração. Esse processo é pouco efetivo para os colóides (oxi-hidróxidos de ferro), bactérias e vírus.

b) Adsorção

Nesse processo, que constitui um caso particular da sorção, um determinado soluto pode ter seus componentes agregados a partículas do solo através de forças eletrostáticas denominadas de forças de Van Der Walls (Fetter, 1992). Geralmente as partículas argilosas, carregadas negativamente atraem os cátions dos solutos, podendo a partícula adsorvida assim permanecer por longo tempo, propiciando a sua degradação posterior por outros processos como acima

citados. Assim, esse processo também atua como retardador da contaminação e indiretamente viabiliza a sua redução ou eliminação.

c) Absorção

Trata-se de mais um caso particular de sorção, em que o soluto é difundido através dos poros do solo e retido ao longo de suas superfícies, sem que haja uma forte adesão por conta de forças eletrostáticas (Wood et al, 1990).

Embora semelhante ao processo anterior, a retenção é bem menos intensa, o que propicia uma mais fácil desagregação com o tempo, pelo que, o efeito do retardamento da contaminação é bem menor que no caso da adsorção.

d) Diluição

Consiste na dissolução em água do contaminante infiltrado, quer esteja originalmente na forma sólida ou líquida. Esse processo atua de duas formas em relação à contaminação do aqüífero: pode acelerar o transporte do contaminante se a diluição ocorrer em partículas sólidas do contaminante, pois aumentará sua mobilidade: pode reduzir o efeito danoso do contaminante se essa diluição ocorrer na fase líquida, pois diminuirá a concentração do soluto.

Esse processo pode ocorrer na zona vadosa, mas é mais característico na zona saturada.

PROCESSOS QUÍMICOS

a) Quimisorção

A quimisorção constitui uma particularidade da adsorção e corresponde à reação química ocorrida entre íons do soluto e das partículas que os adsorveram (Fetter, 1992). Nesse caso, parte do soluto é incorporada às partículas sólidas do meio e nessa reação química é comum a troca de íons entre as partes intervenientes nesse processo. Considerando que parte do soluto é incorporada às partículas do solo, esse processo atua como eliminador do contaminante, que pode ser parcial ou total, dependendo da intensidade do processo e do volume da carga contaminante infiltrada.

b) Oxidação-Redução

Os processos de oxidação e redução, conhecidos por **redox**, resultam de reações químicas em que há uma mudança na valência de um ou mais íons, resultando na perda ou ganho de elétrons. Se um elétron é perdido, haverá um ganho na valência positiva e o processo corresponderá a uma ***oxidação;*** se um elétron é ganho, haverá uma perda na valência positiva, quando se terá uma ***redução.***

Um exemplo desses processos pode ser verificado com a transformação do ferro ferroso – Fe^{2+} - em ferro férrico – Fe^{3+}, através da perda de elétron, caracterizando a oxidação, ou seja:

$$Fe^{2+} - e^{-} \longleftrightarrow Fe^{3+}$$

No sentido contrário, a redução do ferro férrico dar-se-á pelo ganho de elétron, passando para ferro ferroso:

$$Fe^{3+} + e^{-} \longleftrightarrow Fe^{2+}$$

O potencial de oxidação é definido pelo Eh, que se relaciona com o número de elétrons, da mesma forma que o pH se relaciona com o número de prótons.

Esses processos são muito importantes na redução e até eliminação da contaminação por produtos orgânicos e nitrogenados.

Em ambiente aeróbico, a matéria orgânica é transformada em dióxido de Carbono – CO_2 – e os compostos nitrogenados em nitratos – NO_3.

Se o ambiente é anaeróbico (oxigênio escasso ou ausente), ocorre uma redução de nitratos, de sulfatos e de compostos férricos e de manganês.

Embora a zona vadosa seja normalmente aeróbica e alcalina, pode sofrer variações significativas de Eh e pH na presença da matéria orgânica, ocasionando mudanças no comportamento dos contaminantes aí presentes.

c) Solubilização – Precipitação – Coprecipitação

A solubilização é a propriedade de uma substância dissolver-se em meio aquoso até atingir um limite de saturação. A capacidade da água de dissolver substâncias aumenta com a temperatura, com a presença de ácidos orgânicos e com a redução do pH.

A precipitação é o processo inverso, onde as substâncias dissolvidas na água voltam ao seu estado sólido em conseqüência do aumento do pH ou redução da temperatura e/ou da pressão.

Esse processo afeta principalmente o Fe^{2+} e o Mn^{2+}, que podem sofrer oxidação com pH entre 7 e 8, produzindo-se o $Fe(OH)_3$ e $Mn(OH)_3$ que se precipitam.

Alguns desses metais ao precipitar arrastam outros íons metálicos por coprecipitação, como Cu, Pb, Zn, As, W, V, F e PO_4.

Esse processo, a exemplo do redox, pode significar uma definitiva eliminação de muitos contaminantes.

d) Complexação/Quelação

Complexação ou Quelação é a formação de compostos a partir da ligação de determinados ânions chamados de *ligantes* a metais, através de processos de covalência ou atração eletrostática (Fetter, 1996). Os compostos formados são chamados de *quelatos* e, dependendo da ação do ligante, esse composto poderá precipitar ou permanecer em solução. Os principais ligantes presentes na água natural são: OH^-, CO_3^{2-}, SO_4^{2-}, Cl^-, F^-, NO_3^-, SiO_3^{2-}, S^{2-}, $S_2O_3^-$, NH_3 e PO_4^{3-}.

Os metais mais facilmente quelados são: Mg^{2+}, Ca^{2+}, Fe^{3+}, Mn^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+} e Cd^{2+}.

Funcionam ainda como ligantes as substâncias húmicas, resultantes da decomposição da vegetação. Dessas substâncias, o ácido húmico produz quelatos que são precipitados, enquanto o ácido fúlvico forma quelatos que permanecem em solução.

Algumas substâncias orgânicas sintéticas presentes em resíduos de alguns produtos manufaturados como detergentes e compostos de limpeza funcionam como poderosos ligantes que formam quelatos de alta mobilidade na zona vadosa, aumentando significantemente o potencial poluidor do metal original.

Assim, o processo de complexação pode reduzir ou eliminar a contaminação, mas pode também ser responsável pelo aumento de sua potencialidade.

e) Intercâmbio de gases

Nas reações químicas poderá ocorrer o desprendimento de gases, cuja composição variará em função do ambiente (aeróbico ou anaeróbico), do tipo de contaminante e das reações ocorridas.

Esses gases podem ser CO_2, CH_4, SH_2 e N_2 e sua descarga para o exterior é uma forma natural de descontaminação, pois sua liberação permite uma maior penetração de oxigênio da atmosfera que irá facilitar os processos de degradação aeróbica.

PROCESSOS BIOQUÍMICOS

Esses processos são caracterizados por reações de biodegradação ou biotransformação porque são catalisadas por microorganismos autóctones, principalmente as bactérias, que ocorrem na forma de película ou biofilme (Fetter, 1996) sobre as partículas do meio poroso ou nas superfícies das fraturas.

Essas reações são importantes para a degradação de contaminantes orgânicos, pois reduz a concentração e o efeito contaminante nas águas subterrâneas. Pode ocorrer no meio aeróbico, através de uma simples decomposição dos compostos orgânicos em presença de O_2, ou em meio anaeróbico, quando os microorganismos usam as reações de redox como fonte de energia, ou seja, recebem o oxigênio através da redução de compostos contendo esse íon.

Como exemplos mais importantes para a contaminação das águas subterrâneas, podem ser citados os processos que ocorrem com os hidrocarbonetos derivados do petróleo.

Os alcanos podem ser degradados em condições aeróbicas pelas bactérias *Micrococus sp., Pseudomonas sp, Mycobacterium sp., e Nocardia sp.* O produto final dessa degradação é o ácido acético, que pode ser facilmente transformado em dióxido de carbono e água.

Os hidrocarbonetos aromáticos (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno), que predominam na gasolina, podem ser degradados em condições aeróbicas ou anaeróbicas, sendo as bactérias *Pseudomonas sp e Moraxella sp* as principais responsáveis por tal degradação (Evans, 1977).

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH), que dominam no diesel, são facilmente degradados em condições aeróbicas pelo fungo *Phanerochaete Chrysosporium* (Bumps, 1989) ou pela bactéria *Mycobacterium sp* (Hertkamp et al, 1988).

Outros processos de degradação importantes são os que resultam na precipitação do ferro – Fe^{2+} na forma de $Fe(OH)_3$, em meio oxidante através das bactérias *Crenothrix sp, Leptothrix sp e Gallinella sp.*

Em meio anaeróbico as bactérias *Beggiatoa e Thiothrix* transformam o SO_4 em SH_2 e S^{2-}, utilizando o enxofre em seu metabolismo.

PROCESSOS RADIOATIVOS

A desintegração radioativa é uma forma natural de eliminação de contaminantes radioativos infiltrados no subsolo.

Para que tal ocorra, faz-se necessário um grande tempo de permanência da substância no solo, no que poderá ser facilitado por todos os processos físicos de retenção de contaminantes acima comentados.

Essa desintegração resulta do decaimento dos radionuclídeos presentes no sistema solo/contaminante e existentes nas fases dissolvida e adsorvida.

A concentração de um soluto em função da desintegração radioativa varia conforme a seguinte expressão (Fetter, 1992).

$$\frac{\delta C}{\delta t} = -\frac{\ln 2}{\lambda} C$$

Sendo: C = concentração do soluto
λ = meia-vida do radionuclídeo

7.3.2. Carga Contaminante

Pelo esquema apresentado na figura 7.1, a carga contaminante seria caracterizada pelo modo de disposição e pela mobilidade físico-química e persistência do material poluente.

O ***modo de disposição*** inclui os seguintes aspectos:

- posição em que a carga é disposta: sobre a superfície ou no seu interior e, nesse caso, a que profundidade;
- carga hidráulica - em mm/dia;
- concentração do contaminante em relação aos valores recomendados pela OMS;
- proporção da recarga local da água subterrânea afetada pela contaminação (pontual, multipontual, linear e difusa);
- forma de emissão da carga contaminante: contínua ou intermitente;
- período durante o qual se aplica a carga: horas a décadas.

As características de ***mobilidade e persistência*** dependem de:

- propriedades físico-químicas;

- tendência a sofrer degradação ou transformação *in situ* como resultado de atividades bacteriológicas ou reações químicas;
- tendência a sofrer retardação com relação ao fluxo da água subterrânea como conseqüência de processos de sorção, troca de base etc.

Em função das características de mobilidade, as cargas contaminantes podem ser consideradas reativas ou conservativas. As *reativas* são passíveis de sofrer reações químicas que causam transformação ou degradação e, nesses casos, a pluma pode ter movimento retardado em relação à velocidade da água subterrânea. As *conservativas* não sofrem reações em subsuperfície e sua pluma se locomove com a mesma velocidade da água subterrânea.

A interação de todas as características acima referidas permite classificar a carga poluidora em três classes distintas (Hirata et al, 1997) quanto à potencialidade de contaminação: *elevada, moderada e reduzida.*

Deve, contudo, ser lembrado que tal concentração está sempre associada à probabilidade de risco, o que significa dizer que, uma atividade que envolva um contaminante de potencialidade moderada poderá, segundo circunstâncias momentâneas de manuseio, representar maior perigo ao ambiente que uma atividade envolvendo uma carga de potencialidade elevada. Mesmo porque, geralmente as cargas potencialmente elevadas são manuseadas obedecendo a rígidos cuidados de controle e preservação, o que nem sempre ocorre quando a carga contaminante é potencialmente reduzida.

No presente trabalho, as diferentes classes contaminantes serão classificadas levando em consideração critérios específicos para cada tipo de contaminante.

7.4. MECANISMO DE TRANSPORTE DO CONTAMINANTE

O contaminante, geralmente em forma de solução – denominado **soluto**, é normalmente introduzido no subsolo através da superfície do terreno ou de suas camadas mais superiores, quando decorrente de vazamentos em tanques de armazenamento subterrâneo (TAS), ou do sistema de distribuição entre o tanque e a superfície.

Uma vez no subsolo, o soluto é transportado em dois meios distintos: na zona vadosa e na zona saturada.

7.4.1. Transporte do soluto na zona vadosa

A zona vadosa ou não saturada constitui um sistema trifásico muito complexo, onde a interconexão das fases sólida, líquida e gasosa apresenta especificidades que dificultam muito caracterizar e prever o fluxo da água e dos contaminantes.

Por muitos cientistas essa zona tem sido vista como um reino misterioso, através do qual se processa a recarga da zona saturada, sendo por isso denominada de "purgatório aquoso" (Fetter, 1992).

Outros autores, como Cullen et al (1994) condenam a separação das zonas vadosa e saturada, alegando que todas as águas subsuperficiais se encontram intercomunicadas, pelo que, um só ambiente deveria ser considerado para o fluxo dessas águas.

É inegável, todavia, que existem diferenças fundamentais entre essas duas zonas, principalmente nas condições que regulam o fluxo aquoso nesses meios.

Na zona vadosa, o preenchimento aleatório dos poros por ar cria barreiras que induzem o fluxo lateral ou provocam bruscas descidas desse fluxo por caminhos preferenciais. Por outro lado, as forças capilares superam em alguns pontos as forças gravitacionais, resultando em fluxos ascendentes localizados. Assim, é muito grande a influência das heterogeneidades do solo no direcionamento desse fluxo, tornando completamente imprevisível a sua caracterização espacial ou temporal.

Considerando as dificuldades impostas por tais heterogeneidades, não adianta muito conhecer a quantidade de água contida na zona vadosa (existem vários métodos para tal determinação), sem que se conheça as potencialidades energéticas que condicionam o movimento das águas aí armazenadas.

Especificamente com relação ao fluxo de contaminantes, o ***potencial energético*** do sistema soluto-solo é definido pelo trabalho mecânico requerido para transferir determinado volume desse soluto do solo até um *datum* de referência.

O potencial total desse sistema (ψ_T em energia/volume ou **H** em carga hidráulica) inclui três componentes: potencial gravitacional (ψ_z em energia/volume ou **Z** em carga hidráulica); potencial do soluto (ψ_s em energia/volume); e potencial de pressão (ψ_p em energia/volume ou **h** em carga hidráulica).

O ***potencial gravitacional*** resulta do campo de força da gravidade terrestre.

O ***potencial do soluto*** resulta da diferença em potencial energético entre o soluto e a água pura, pois a grande variedade de substâncias dissolvidas no soluto reduz o seu potencial energético em relação à água pura.

O ***potencial de pressão*** resulta das forças de capilaridade e constitui um dos principais diferenciadores entre as zonas vadosa e saturada, conforme pode ser observado na figura 7.2.

Observa-se nessa figura que a pressão da água no solo, também chamada de pressão neutra ou poropressão, é nula no nível de saturação do aqüífero, aumentando proporcionalmente com a profundidade na zona saturada.

Já na zona vadosa, essa pressão é negativa em função das forças tensionais ou capilares, sendo crescente o valor negativo dessa pressão no sentido ascendente.

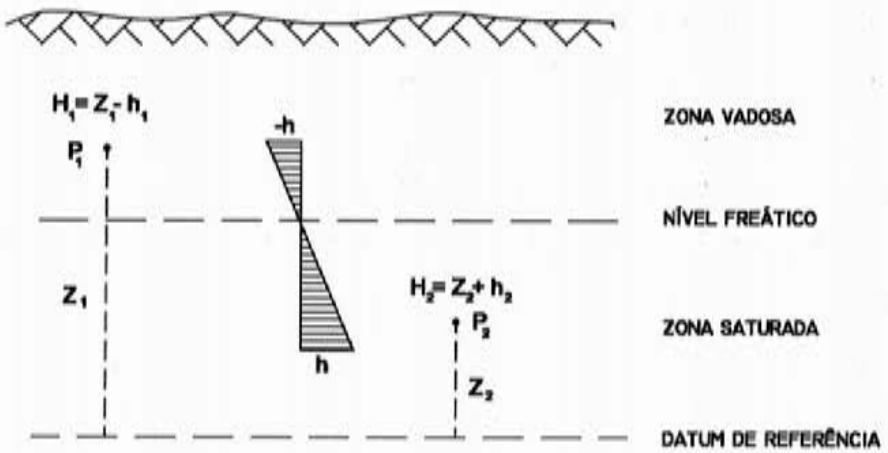


FIGURA 7.2 - DISTRIBUIÇÃO DA PRESSÃO DA ÁGUA NO SUB-SOLO

Considerando que o potencial do soluto não influi muito no cômputo das energias em jogo para a definição do seu fluxo na zona vadosa, é comumente desprezada essa força do potencial energético do sistema, que fica reduzido às seguintes expressões:

$$\psi_T = \psi_z + \psi_p \qquad 7.1.$$

ou $$\mathbf{H = Z + h} \qquad 7.2$$

ou $$\mathbf{H = \rho_w g z - h} \qquad 7.3.$$

Sendo ρ_w a densidade da água, **g** a aceleração da gravidade, **z** a elevação acima do plano de referência e **h** negativo na zona vadosa (Fetter, 1992).

A equação 7.3 regula as condições de transporte do soluto na zona vadosa, sendo os processos semelhantes aos ocorridos na zona saturada, a seguir descritos.

7.4.2. Transporte do soluto na zona saturada

O fluxo na zona saturada, embora satisfaça às mesmas condições físicas definidas pela equação 7.1., apresenta diferenças marcantes.

Em primeiro lugar, o total preenchimento dos vazios pela água subterrânea, onde se acha diluído o soluto, confere condições mais uniformes de fluxo que na zona vadosa, eliminando as barreiras formadas pelo ar contido nos poros do solo. Depois, a pressão da água constitui uma carga hidráulica positiva, pela inexistência de forças de capilaridade. Finalmente, existe um direcionamento geral para o fluxo aquoso em função do gradiente hidráulico do nível do freático.

O transporte dos solutos ao longo da zona saturada desenvolve-se através de diferentes processos em função das características do aqüífero e do próprio contaminante dissolvido.

Os principais processos de transporte são: advecção, difusão e dispersão hidrodinâmica.

a) Advecção, Convecção ou Transporte Advectivo

Esse transporte corresponde ao movimento passivo do soluto em relação à água, ou seja, o soluto é transportado segundo o mesmo sentido do fluxo da água subterrânea em que foi dissolvido. A quantidade do soluto transportada será função de sua concentração na água e da quantidade de água movimentada.

O fluxo do transporte advectivo – $\mathbf{F_a}$ – será dado pela equação:

$$\mathbf{F_a = qC} \qquad 7.4.$$

Onde **q** corresponde ao fluxo da água pela Lei de Darcy e **C** é a concentração do soluto.

b) Transporte por Difusão ou Difusivo

Corresponde ao movimento de um soluto na água, da área de maior concentração para a área de menor concentração, daí porque é também chamado de Transporte por Gradiente de Concentração (Fetter, 1992). A difusão pode ocorrer mesmo sem que haja movimento do fluido, desde que exista um gradiente de concentração.

O fluxo por difusão – $\mathbf{F_d}$ – pode ser descrito pela Lei de Fick, através da seguinte equação:

$$\mathbf{F_d = -D_d (\delta C/\delta x)} \qquad 7.5.$$

Sendo: $\mathbf{F_d}$ = fluxo por difusão do soluto (L/T)
$\mathbf{D_d}$ = coeficiente de difusão (L^2/T)
$\delta C/\delta x$ = gradiente de concentração ($M/L^3/L$)

O transporte por difusão ocorre ainda ao longo das fraturas pela penetração de íons e moléculas do soluto através das paredes das fraturas, quando o corpo rochoso fraturado é poroso.

c) Transporte por Dispersão Hidrodinâmica

As diferentes formas, tamanhos e orientações dos poros de um solo saturado resultam em grandes variações na velocidade do fluido que percola nesses vazios, principalmente porque a velocidade ao longo de um poro é mais reduzida nas proximidades das paredes dos grãos. A variação de velocidade implica em diferentes condições para o transporte dos solutos, que sofrem misturas semelhantes à difusão molecular.

Esse espalhamento de velocidades locais é denominado de ***dispersão mecânica*** (Bear, 1972), sendo o processo descrito pela seguinte equação:

$$\mathbf{F_h = - D_h \frac{\delta C}{\delta z}} \qquad 7.6$$

Sendo: F_h = fluxo por dispersão mecânica (L/T)

D_h = coeficiente de dispersão mecânica (L^2/T)

$\delta C/\delta z$ = gradiente de concentração ($M/L^3/L$)

Considerando que o processo de dispersão mecânica é muito semelhante ao de difusão, esses termos são usualmente somados, ou seja:

$$D = D_d + D_h \qquad 7.7$$

onde **D** é o coeficiente longitudinal de **dispersão hidrodinâmica.**

Considerando as equações 7.4, 7.5, 7.6. e 7.7., obtém-se a seguinte equação para o Fluxo do Soluto – F_s.

$$F_s = D \frac{\delta C}{\delta z} + qC \qquad 7.8$$

Observa-se assim, que o fluxo de um soluto na zona saturada pode resultar do somatório de todos os processos de transporte de contaminante no seio da água subterrânea.

7.5. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

A integração entre as características do meio e a presença das diferentes cargas contaminantes constitui o modelo hidrogeológico em que pode ser visualizada a possibilidade de contaminação de um determinado aqüífero.

O caso estudado corresponde a um centro urbano onde são inúmeras as fontes de contaminação dos recursos hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos.

Considerando as características geológicas e hidrogeológicas já relatadas para a área pesquisada, esse modelo pode ser definido através do cenário de contaminação das suas águas subterrâneas mostrado na figura 7.3.

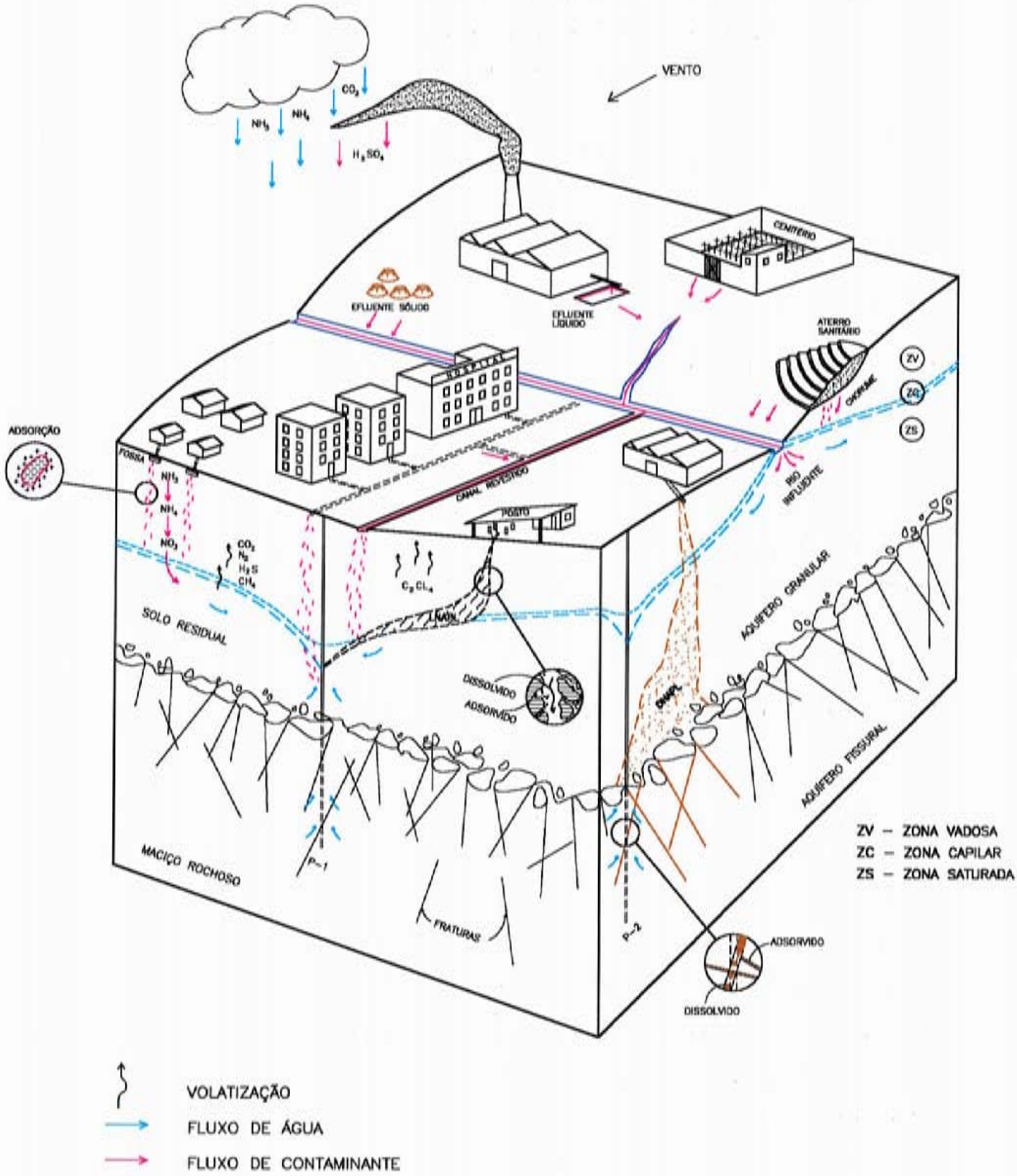


FIGURA 7.3 - CENÁRIO DA CONTAMINAÇÃO URBANA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Nesse cenário foram acrescentados, além dos elementos relacionados com o meio natural e com a ocupação antrópica, alguns processos de contaminação e a forma de transporte desses contaminantes no interior do solo, bem como a maneira como a água eventualmente contaminada poderá chegar até o receptor, ou seja, através dos poços tubulares indicados nessa figura (P-1 e P-2).

Além de excluídas desse cenário, as fontes de contaminação presentes na zona rural, como as relacionadas com a agricultura e a pecuária, deixaram de ser considerados dois agentes de contaminação que podem estar presentes em um centro urbano, ou seja, a mineração e o transporte.

A mineração porque apenas existem no município estudado algumas pedreiras que explotam granitos e gnaisses para o fabrico de brita. Os efluentes desse tipo de mineração podem poluir os cursos d'água superficiais através do assoreamento, mas nenhuma implicação é registrada com relação à contaminação dessas águas, nem muito menos das águas subterrâneas.

O acidente com transporte de produtos tóxicos é muito fortuito e localizado, sendo muito difícil o seu registro no decorrer do tempo e praticamente impossível a avaliação *a posteriori* da qualificação e quantificação de seu impacto para as águas subterrâneas.

Esse cenário inclui ainda a ação de agentes climáticos como o vento e a chuva que contribuem com o transporte de efluentes atmosféricos ou através da dissolução de resíduos sólidos, carreando tais contaminantes para os cursos d'água ou diretamente para o subsolo pela infiltração dessas soluções.

O cenário assim descortinado constituirá o modelo hidrogeológico que embasará a análise das várias possibilidades de contaminação passíveis de ocorrer na área pesquisada e que serão objeto dos capítulos que se seguirão.

7.6. CONDIÇÕES DE CONTORNO DO MODELO

Em qualquer pesquisa que se pretenda realizar sempre é comum se deparar com obstáculos e dificuldades, quer relacionados com a própria metodologia utilizada, ou intrínsecos à complicada burocracia dos órgãos públicos que detém grande parte dos dados secundários.

Tais problemas são aqui considerados *condições de contorno*, por imporem restrições e limites à condição considerada ideal para atingir plenamente os objetivos previamente fixados para a pesquisa.

No presente estudo essas condições se manifestam prioritariamente em dois aspectos: qualidade dos dados existentes e disponibilização de novos dados.

A ***qualidade dos dados*** é impressionantemente inferior à desejável para uma pesquisa desse porte.

Foi já comentada no item 4 a dificuldade de aproveitamento dos dados de poços tubulares incluídos nos cadastros que precederam a presente pesquisa, pela falta do mais importante desses dados: a localização exata do poço.

Por outro lado, as informações obtidas com os poços levantados no presente estudo também deixam muito a desejar, principalmente pela falta de descrições detalhadas e confiáveis sobre a constituição dos solos e rochas atravessados por esses poços.

Com relação às análises físico-químicas, foi já comentado no item 5 sobre a sua má qualidade, tendo sido rejeitadas 65 das 140 análises existentes por falta de dados ou por erros de análise.

Quanto à ***disponibilização de novos dados*** os obstáculos têm ocorrido em duas áreas distintas: pública e privada.

Inexplicavelmente muitos órgãos públicos se julgam com direito exclusivo de propriedade sobre os dados técnicos que possuem, alegando as mais estapafúrdias justificativas para não os ceder, até mesmo que não os possui.

Esse problema torna-se mais grave quando tais órgãos são responsáveis por serviços prestados à população, como coleta de lixo e rede de esgotos, sendo nesses casos justificado o escamoteamento de dados pelo receio de tornar públicas no meio científico eventuais deficiências na prestação desses serviços.

As empresas particulares possuem uma justificativa até certo ponto compreensível para negar informações, dados técnicos e acesso às suas instalações: o receio de que sua atividade seja considerada poluidora e advenham em conseqüência punições e multas.

Como exemplo, podem ser citados os postos de gasolina, cujos proprietários andam alarmados com as notícias veiculadas na imprensa escrita e falada sobre punições impostas a vários postos em São Paulo, quando flagrados comprovadamente contaminando os aqüíferos por vazamentos de combustíveis.

Somente recentemente está sendo possível conhecer a real situação da eventual contaminação causada por tais veículos poluidores, pois a Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Prefeitura de Belo Horizonte iniciou uma campanha de controle ambiental, normalizando rigorosas condições para renovação do alvará de funcionamento desses postos, em função de estudos ambientais para caracterização de vazamentos.

Com relação ao setor industrial, as dificuldades são ainda maiores, pois é comum serem negadas informações sobre seu funcionamento, bem como a possibilidade de coletar amostra de efluentes ou da água de poços (quando existem) para as devidas análises.

No setor hospitalar as resistências têm sido menores. Todavia, sua influência é bem menor que a representada pelas atividades acima referidas, não somente em termos quantitativos (444 postos, 1076 indústrias e apenas 95 hospitais), mas, sobretudo, em termos qualitativos, com relação ao tipo de contaminante liberado. Também é praticamente inexistente a presença de poço tubular nessas instalações hospitalares.

8. VULNERABILIDADE DOS AQÜÍFEROS DE BELO HORIZONTE

8.1. INTRODUÇÃO

A avaliação da vulnerabilidade de um aqüífero é sempre realizada com base em dados quantificáveis, em parte empiricamente, mas que variam de local para local em função das características intrínsecas do aqüífero e das possibilidades de atenuação dos efeitos adversos propiciados pelos diferentes tipos de contaminantes.

Deve, contudo, ser observado que a mobilidade de alguns contaminantes varia muito em função de sua diluição nas águas que se infiltram, além de que, muitos contaminantes somente são transportados para o subsolo quando carreados pelas águas pluviais, como já foi citado para os poluentes atmosféricos e para os resíduos sólidos, principalmente industriais.

Nessas circunstâncias, deve ser avaliada a influência de dois fatores não quantificáveis, mas que podem pesar na análise sobre a vulnerabilidade de um aqüífero: o clima e a ocupação do espaço urbano.

O **clima** não varia significantemente ao longo de todo o município, mas apresenta características que podem influir na contaminação dos aqüíferos locais quando analisado o contexto global de toda a região.

Pelo balanço hídrico realizado no item 2.1, foi observado que a infiltração das águas pluviais em condições de atingir o nível de saturação dos aqüíferos locais restringe-se a 5 (cinco) meses do ano (novembro a março).

Isso significa que, durante 60% do ano grande parte dos efluentes infiltrados encontram dificuldade de percolar ao longo da zona vadosa, aumentando as chances de sofrerem reações físicas, químicas ou bióticas que promovam a sua degradação ou impeçam a continuidade do seu transporte até o aqüífero, ou seja, aumentando significantemente o processo de atenuação que ocorre na zona vadosa.

Esse processo, embora reduza globalmente a vulnerabilidade dos aqüíferos é totalmente imensurável, funcionando apenas como um fator de segurança a ser considerado durante as análises conclusivas sobre a vulnerabilidade dos aqüíferos locais.

A **ocupação do espaço urbano** é também muito importante quando se analisam as possibilidades de infiltração das águas pluviais.

Quando foi considerada no balanço hídrico realizado no início desse trabalho a taxa de apenas 5% para a infiltração das águas pluviais, considerou-se a grande dificuldade representada para essa infiltração pelos inúmeros obstáculos presentes em uma metrópole como Belo Horizonte.

Com efeito, observa-se na caracterização do espaço urbano que 76,6% do município correspondem às áreas residenciais e industriais, enquanto 23,4% incluem as áreas verdes e os corpos hídricos superficiais (rios, córregos, lagos e lagoas).

Embora não haja estatísticas na PBH que permitam distinguir em números as casas dos apartamentos, estima-se que sejam aproximadamente iguais as áreas ocupadas por esses diferentes tipos de habitação nesse município.

Isso significaria que, aproximadamente 40% da extensão do município seriam ocupadas por prédios em ruas asfaltadas, restringindo a infiltração das águas pluviais às isoladas praças públicas existentes nessa área e aos reduzidos jardins que estão presentes em alguns desses prédios.

A situação muda na área residencial ocupada por casas, como mostrado na foto 6.2, onde cada casa ocupa menos de 50% da área do terreno em que se situa.

Quanto à distribuição das áreas verdes, observa-se na figura 6.3 que as maiores áreas se distribuem nas faixas limítrofes do município, sendo raras as áreas que ocupam mais de 0,1 km^2 na região central desse município.

Nessas circunstâncias, o fluxo das águas que percolam ao longo da zona vadosa é extremamente irregular nesse município, em função das condições heterogêneas de infiltração das águas pluviais, cuja taxa pode variar desde menos de 2% até cerca de 10%, dependendo da obstaculação oferecida pelas construções e impermeabilizações de ruas e pátios na zona residencial.

Essa irregularidade não influi muito na recarga dos aqüíferos, pois o fluxo das águas subterrâneas permite uma distribuição da zona saturada em função do gradiente dessas águas, de sorte que as áreas melhor alimentadas supram aquelas que recebem menor infiltração.

Todavia, com relação à percolação ao longo da zona vadosa, que ocorre no sentido vertical em função da alimentação direta das águas pluviais que se infiltram, há uma grande diferenciação em função da forma de ocupação antrópica.

Nas áreas em que é máxima a obstaculação à infiltração, a percolação é reduzida e de forma intermitente, pois depende da melhor forma que a água encontra para vencer a resistência imposta pelas áreas construídas. Nessas áreas a lixiviação de eventuais solutos existentes na zona vadosa é dificultada pela deficiência de percolação das águas pluviais, tornando-se, conseqüentemente, mais intenso o processo de atenuação de eventuais contaminantes que cheguem a essa zona, como mostrado na figura 8.1, em relação ao posto de combustíveis aí presente.

Nas áreas em que a infiltração é facilitada pela presença do solo exposto, como mostrado nessa figura, a percolação é contínua na época chuvosa e a lixiviação de eventuais solutos na zona vadosa se processa com mais facilidade.

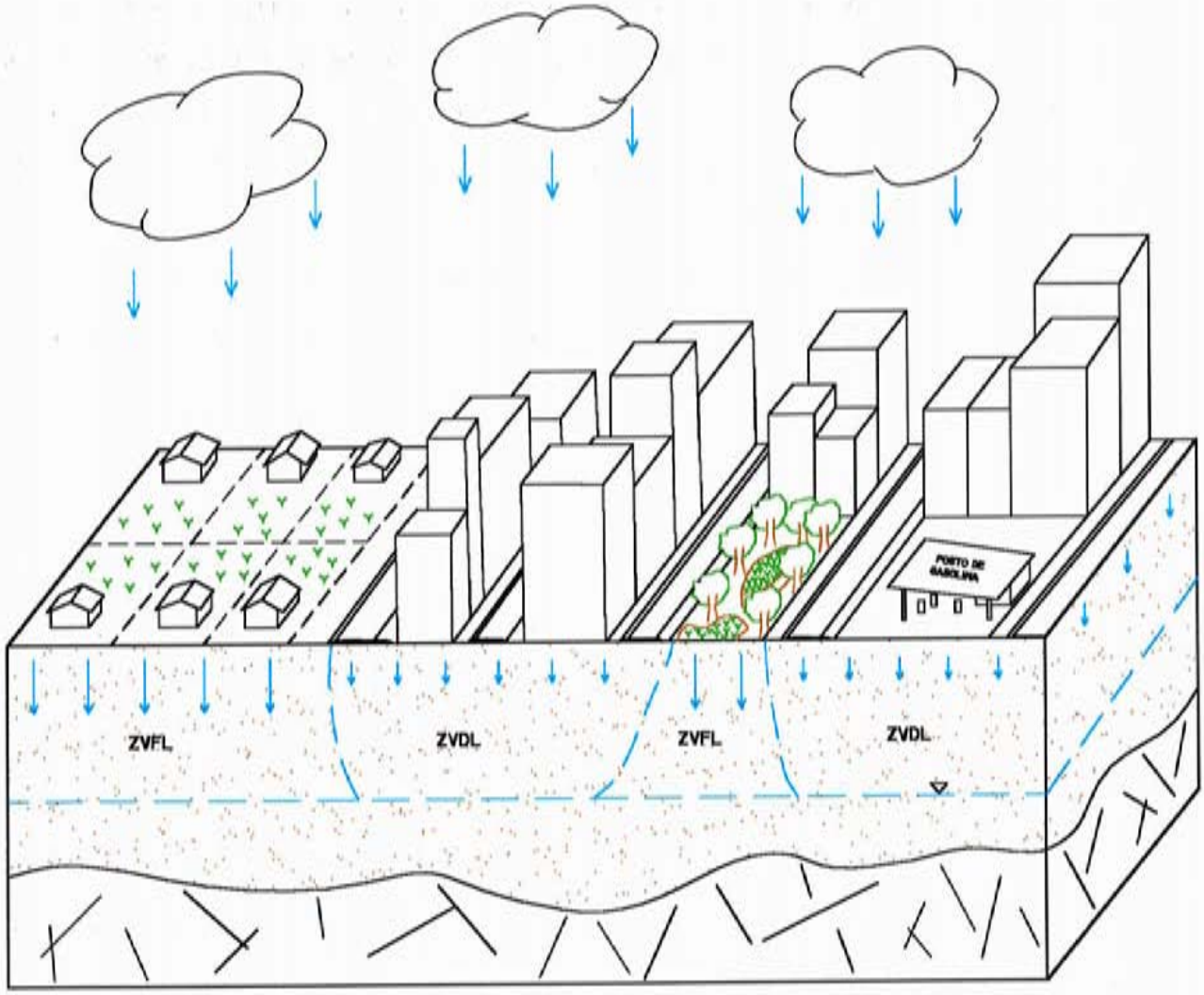
Pode-se assim concluir que, em pelo menos em 40% da extensão desse município as condições de vulnerabilidade do aqüífero são reduzidas em função da forma de sua ocupação, considerando, principalmente, que as cargas contaminantes estejam na superfície do solo. Para vazamentos de tanques enterrados ou de sua tubulação de acesso, a percolação do contaminante sofre também a influência da redução das águas infiltradas, pois será diminuída a mobilidade desse contaminante na zona vadosa.

A exemplo da influência referida para as condições climáticas, essa redução é totalmente incomensurável, constituindo apenas mais um fator de segurança que reforça o poder autodepurador da zona vadosa no processo de contaminação das águas subterrâneas.

8.2. CRITÉRIO PARA CLASSIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE

Caracterizar quantitativa e qualitativamente a vulnerabilidade de um aqüífero não é tarefa fácil, pois envolve uma grande diversidade de fatores influentes nessa caracterização, nem sempre mensuráveis, como mostrado no item precedente.

Essa tarefa torna-se mais difícil quando é significativa a participação do aqüífero fissural, já que as irregularidades de fluxo, conseqüentes da trama de descontinuidades, mascaram muitas inferições baseadas em um fluxo característico de um meio contínuo.



LEGENDA

- SOLO DE COBERTURA
- MACIÇO ROCHOSO
- TOPO DO AQUÍFERO
- FLUXO CONTÍNUO DAS ÁGUAS INFILTRADAS
- FLUXO INTERMITENTE E REDUZIDO DAS ÁGUAS INFILTRADAS
- ZVFL — ZONA VADOSA FACILMENTE LIXIVIADA
- ZVDL — ZONA VADOSA DIFICILMENTE LIXIVIADA
- VEGETAÇÃO EM PRAÇAS E JARDINS

FIGURA 8.1

CONDIÇÕES DE INFILTRAÇÃO NA ZONA URBANA

Por outro lado, torna-se muito difícil prever a ação do tempo na definição da vulnerabilidade, sendo assim considerado pouco vulnerável um aqüífero em que a contaminação se propaga lentamente, o que não significa que em longo prazo esse aqüífero não seja contaminado, já que alguns contaminantes são conservativos e pouco degradáveis, podendo atingir o aqüífero muito tempo depois de penetrado na zona vadosa.

Finalmente, deve-se considerar como um dos maiores problemas na caracterização da vulnerabilidade, a obtenção de dados confiáveis, principalmente quando é grande a extensão da área pesquisada, como no presente caso.

8.2.1. Critérios Existentes

A partir da década de 60, muitos critérios têm sido aplicados para caracterizar e cartografar a vulnerabilidade das águas subterrâneas, na maior parte utilizando metodologias empíricas baseadas nas informações disponíveis e tendo sempre como alvo um determinado objetivo para viabilizar sua aplicação na prática.

Os critérios mais aplicados, segundo Scudino (1997), são os seguintes:

DRASTIC – avalia o potencial de poluição de uma determinada área, em função de suas características hidrogeológicas;

IMPACT – para avaliação do risco básico de contaminação, levando-se em consideração a interação dos agentes contaminantes com as características do meio e com o receptor;

GOD – para avaliação do potencial de contaminação de uma área em função das características geológicas e hidrogeológicas.

O DRASTIC (Aller et al, 1987) corresponde a um acrônimo com o seguinte significado:

D (Depth) - profundidade do nível freático sob a superfície do terreno
R (Recharge) - recarga que recebe do aqüífero
A (Aquifer) - litologia e estruturas do meio aqüífero
S (Soil) - tipificação do solo
T (Topografic) - inclinação do terreno
I (Impact) - natureza da zona não saturada ou vadosa
C (Conductivity) - condutividade hidráulica

O GOD (Foster et al, 1987 e Foster & Hirata, 1988,1991) também corresponde a um acrônimo com o seguinte significado:

G (Groundwater) - tipo de aqüífero (livre, confinado, semi-confinado etc)

O (Overall) - caracterização global do aqüífero quanto ao grau de consolidação, fraturamento e natureza litológica

D (Depth) - profundidade até o nível freático ou topo do aqüífero confinado.

O IMPACT (Custodio, 1994) também corresponde a um acrônimo com o seguinte significado:

I - gradiente hidráulico "i" (desnível piezométrico e o sentido)

M - distância "m" horizontal da fonte contaminante

P - população exposta, seja humana ou animal

A - aplicação – taxa e forma de aplicação (pulso,intermitente, contínua)

C - concentração do poluente

T - toxidade do poluente

Todos os três critérios acima discutidos apresentam problemas para serem aplicados na presente pesquisa, seja pela falta de dados, pela complexidade ou simplicidade, ou pelo nível de abordagem, conforme os comentários que se seguem:

a) Modelo DRASTIC

Conforme discutido no item precedente, devidamente ilustrado na figura 8.1, as condições de recarga do aqüífero em uma metrópole são extremamente variáveis e a caracterização aproximada dessa variação exigiria um grande número de determinações da taxa de infiltração *in situ*, com a instalação de infiltrômetros, o que foge do nível adotado para a metodologia das investigações dessa pesquisa.

Também a tipificação da zona de cobertura e a caracterização da natureza da zona vadosa (na maior das vezes é a mesma coisa) exigiriam um bom conhecimento das variações do solo em termos de constituição mineralógica, textura, granulometria, gênese do material, variação de fácies (quando material sedimentado) e variação do estágio de intemperização (quando solo residual), dados esses totalmente ausentes nos perfis dos poços tubulares existentes nessa região, conforme já relatado no item 4.1., o que exigiria uma grande quantidade de investigação subsuperficial até atingir a zona saturada, fugindo totalmente do escopo do presente trabalho.

b) Modelo GOD

Esse modelo é mais apropriado para aplicação em áreas onde os dados são escassos ou incertos, como no presente caso, todavia, apresenta algumas deficiências em função de sua simplicidade.

Assim é que, dificilmente se encontram em uma mesma área vários tipos de aqüífero, para que esse critério interfira no zoneamento da vulnerabilidade. No presente caso, em que todos os aqüíferos são livres, o índice 1,0 seria utilizado em todo o mapa na classificação da vulnerabilidade, o que é a mesma coisa de não existir tal critério no cômputo dos fatores intervenientes nessa classificação.

Por outro lado, a caracterização global do aqüífero não valoriza as condições de percolação na zona vadosa, que é um dos principais objetivos para classificar a vulnerabilidade.

Finalmente, na definição das classes de vulnerabilidade, a classe "nenhuma" corresponde a um índice inferior a 0 (zero), o que não é possível conseguir utilizando essa metodologia.

c) Modelo IMPACT

Pelas determinações exigidas nessa metodologia, pode-se constatar que se trata de um critério aplicável em um nível detalhado para uma pesquisa, o que foge totalmente ao objetivo do presente trabalho.

Alem disso, parece ser esse critério mais apropriado para definir o risco de contaminação em função do conhecimento de uma determinada carga contaminante do que para classificar a vulnerabilidade de um aqüífero, pois nenhum item contempla as características intrínsecas do aqüífero, condições essenciais para a definição de sua vulnerabilidade.

8.2.2. Critério Adotado

O critério adotado para classificar e cartografar a vulnerabilidade dos aqüíferos de Belo Horizonte baseia-se na metodologia proposta por Foster & Hirata no modelo GOD, já referido, entretanto procura maior objetividade dos conceitos que mais interessam aos fins propostos, bem como uma melhor adequação aos elementos existentes e caracterizadores do meio estudado.

Conforme apresentado na Figura 8.2, esse modelo aborda a caracterização da vulnerabilidade das águas subterrâneas a partir de três condições, a saber: condições de infiltração, condições de percolação na zona vadosa e condições de atingir a zona saturada.

As **condições de infiltração** levam em consideração a declividade do terreno, por ser facilmente quantificável a partir do mapa de declividade. Por tal critério, foram atribuídos índices para cada uma das 6 classes em que foi dividida a declividade, variando de 1,0 para as declividades inferiores a 5% até 0,5 para as superiores a 100%.

Evidentemente, deixou de ser abordado um fator importante para as condições de infiltração, que é a impermeabilização do terreno por ações antrópicas, pois esse elemento dependeria de um exaustivo mapeamento de todas as ruas do município, já que não existe essa informação cartografada.

Por outro lado, também é impossível detectar infiltrações ao longo de galerias enterradas de esgotos e de águas pluviais e muito menos quantificar essas eventuais infiltrações, pelo que, de nada adiantaria incluir tal possibilidade entre os critérios classificatórios de vulnerabilidade.

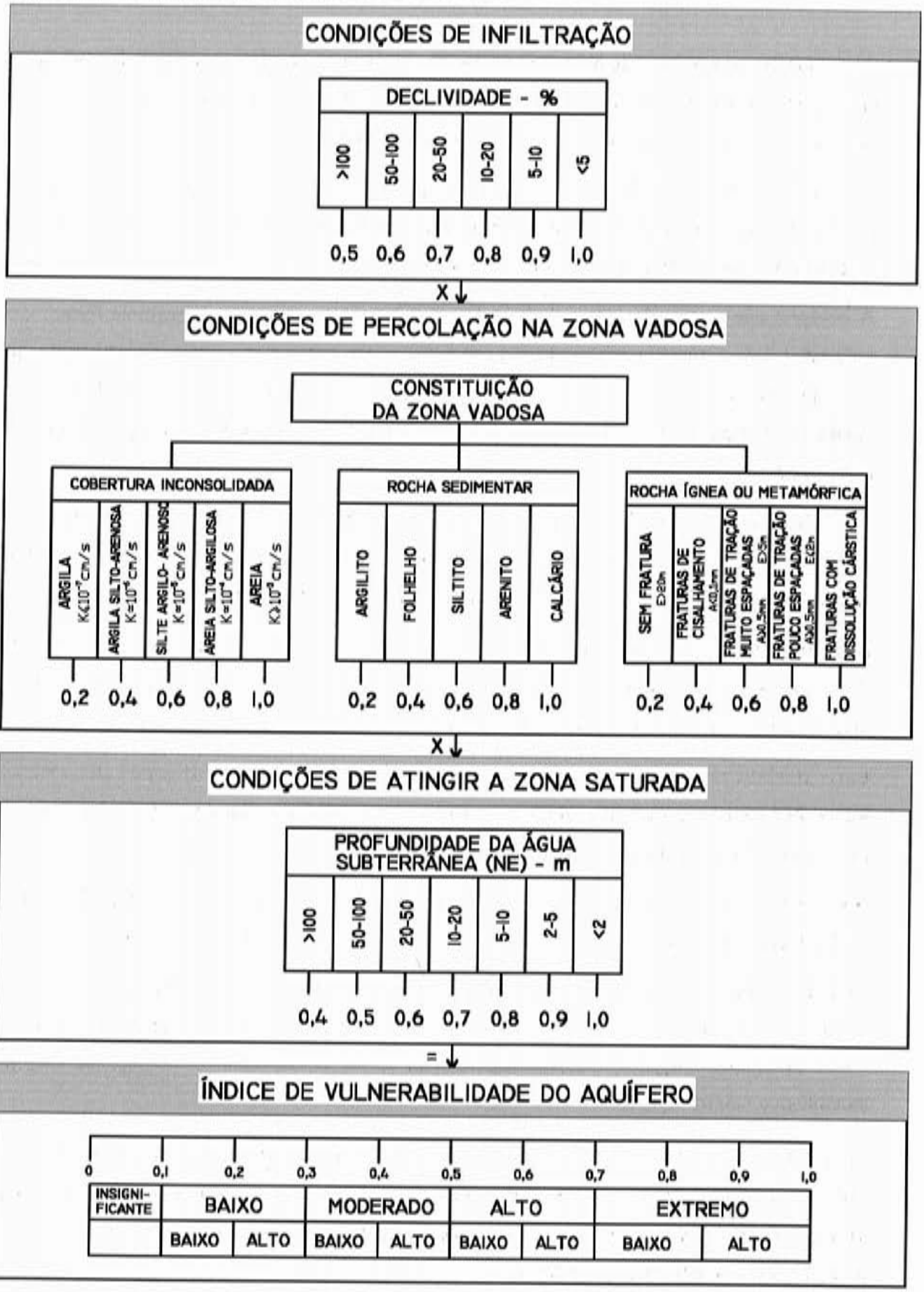
As **condições de percolação na zona vadosa** levam em consideração a facilidade de percolação de soluções pelo efeito da gravidade na zona não saturada, em função da condutividade hidráulica dos materiais que constituem essa zona.

Essa condutividade pode ser explicitada numericamente como é o caso da cobertura inconsolidada que constitui a zona não saturada em 96% dos poços desse município, ou indiretamente através das características litológicas das rochas.

Nas rochas, a condutividade pode ser conseqüência da porosidade intersticial para as sedimentares, ou da abertura de fraturas para as ígneas e metamórficas.

Embora a condutividade hidráulica em todas as rochas na figura 8.2 cresça proporcionalmente da esquerda para a direita nesses blocos de rochas, não é possível estimar seus valores, pois podem variar muito em função da diagênese sofrida pelas rochas sedimentares ou da abertura das fraturas nas demais rochas.

Para cada constituição passível de ocorrer na zona vadosa (solo ou rocha), foram atribuídos índices crescentes com a condutividade hidráulica, variando de 0,2 a 1,0, onde o índice mais elevado corresponde às mais altas taxas de condutividade hidráulica, que refletem também um aumento da vulnerabilidade do aqüífero.



ESQUEMA PARA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE UM AQUÍFERO
(A=ABERTURA DA FRATURA E=ESPAÇAMENTO ENTRE FRATURAS)

FIGURA 8.2

As **condições de atingir a zona saturada** são representadas pela profundidade em que se encontra o topo dessa zona em relação à superfície do terreno. Esse item foi o único mantido sem alteração do esquema proposto por Foster & Hirata, inclusive com relação aos índices atribuídos à variação da profundidade.

A multiplicação dos índices obtidos nas três condições da figura 8.2, acima definidas, determinará o índice de vulnerabilidade do aqüífero.

A interpretação prática do índice final na figura 8.2 pode ser expressa da seguinte forma: uma vulnerabilidade ***insignificante*** representa condições quase nulas para ocorrer uma contaminação do aqüífero, o que geralmente ocorre quando a zona vadosa é muito espessa e argilosa; o índice ***baixo*** significa que o aqüífero é vulnerável apenas a compostos extremamente móveis e persistentes, como sais, nitratos e alguns solventes organo-sintéticos; o índice ***médio*** ou ***moderado*** representa um aqüífero susceptível a contaminantes moderadamente móveis e persistentes, como hdirocarbonetos halogenados ou não e alguns metais pesados. Sais menos solúveis são também incluídos nesse grupo; finalmente, o índice ***extremo*** caracteriza um aqüífero que possui sensibilidade para contaminantes degradáveis, como bactérias e vírus, sendo vulnerável à maioria dos contaminantes da água.

8.3. INFLUÊNCIAS DOS FATORES INTERVENIENTES NA CLASSIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE DOS AQÜÍFEROS DE BELO HORIZONTE

8.3.1. Declividade

Apesar de conhecida como cidade montanhosa, Belo Horizonte não apresenta um relevo muito acidentado, com algumas exceções isoladas, além de ser delimitado por uma elevada projeção morfológica – Serra do Curral.

Conforme discutido no item 2.2.2., 87% desse município possuem declividade fraca a média, ou seja, inferior a 20%, o que constitui uma boa condição para a infiltração das águas pluviais.

O mapa de declividade da figura 2.5 reforça essa conclusão, pois mostra que é muito representativa a extensão correspondente às declividades inferiores a 10%, com algumas manchas isoladas inferiores a 5% (quase 6 km^2 no total).

Essa configuração favorece a elevada vulnerabilidade dos aqüíferos locais, que tem um grande peso para os índices variando entre 0,8 e 1,0 no esquema da figura 8.2 para as condições de infiltração.

Uma atenuante para reduzir a elevada vulnerabilidade é o fato de que as áreas de menor declividade, principalmente abaixo de 10%, situam-se na região mais central desse município, onde praticamente todas as ruas se encontram asfaltadas e também é menor a presença de áreas verdes, fatores esses que dificultam a infiltração, apesar da facilidade imposta pelas declividades fracas.

Tais atenuantes não foram, todavia, consideradas na avaliação da vulnerabilidade em termos de condições de infiltração, por serem de difícil quantificação. Assim, apenas os índices elevados relacionados com as declividades fracas e médias influíram nessa avaliação.

Em compensação, as redes de esgotos e de águas pluviais, que não dependem da declividade mas podem representar importantes fontes de infiltração, não foram também consideradas em função da impossibilidade de sua detectação, como já foi anteriormente mencionado.

8.3.2. Constituição da zona vadosa

Nos 258 poços cadastrados nesse município, 246 tiveram o nível freático no solo de cobertura, o que significa dizer que 95% desses poços acusaram uma zona vadosa constituída pelo material inconsolidado que recobre o maciço rochoso.

Nesse material, a condutividade hidráulica variou entre 10^{-4} cm/s e 10^{-5} cm/s, correspondendo, respectivamente a uma areia silto-argilosa e a um silte argilo-arenoso.

Essa condutividade pode ser considerada de média a pouco elevada e, em geral, não favorece a vulnerabilidade dos aqüíferos locais, já que os índices relativos às condições de percolação na zona vadosa variam entre 0,6 e 0,8 no esquema da figura 8.2.

É bem verdade que as variações na composição desses materiais são muito grandes, principalmente com relação ao teor de argila que varia em função da constituição mineralógica da rocha-mãe e do estágio de evolução da decomposição química desses minerais.

Essa variação é maior no Complexo Belo Horizonte, onde a constituição mineralógica das rochas é muito mais heterogênea, resultando em solos localmente mais arenosos ou mais argilosos. Já

no Grupo Sabará, o filito e o xisto dão solos mais argilosos e mais homogêneos, o mesmo ocorrendo com a Formação Gandarela.

A litologia mais problemática em termos de vulnerabilidade é a Formação Cercadinho, onde os solos predominantemente arenosos oferecem piores condições para atenuação de eventuais contaminantes. Essa formação tem, contudo, um fator que lhe favorece com relação à vulnerabilidade, que é a sua localização. Isso porque, situando-se no sopé da Serra do Curral, essa formação está freqüentemente recoberta por colúvios da Formação Gandarela, predominantemente argilosos, como citado para o poço nº 183, em que 98 m de argila recobrem o quartzito nesse local.

Com relação à percolação no meio rochoso, as condições são também variáveis, embora seja muito reduzida a chance de ser a zona vadosa constituída por rocha.

Isso porque, dos 12 poços em que o nível freático se encontra no maciço rochoso, apenas 3 apresentam toda a zona vadosa em rocha, variando nos demais a participação da rocha nessa zona desde 1,5% até 61,3%.

Ainda assim, foi observado na análise hidrogeológica que as fraturas captadas nesses poços foram predominantemente de cisalhamento, ou, quando de tração, muito espaçadas, refletindo uma capacidade específica inferior à prevista para as diferentes litologias atravessadas.

Nessas condições, são esperados índices para a percolação na zona vadosa entre 0,4 e 0,6 no esquema da figura 8.2, ligeiramente inferiores aos constatados para o solo de cobertura.

Essas variações foram consideradas caso a caso na análise que integrou todos os fatores intervenientes para a avaliação da vulnerabilidade dos aqüíferos locais, conforme será discutido em 8.4, mas, na média, a constituição da zona vadosa não é das mais desfavoráveis para a vulnerabilidade dos aqüíferos locais.

8.3.3. Influência da Profundidade das Águas Subterrâneas

A profundidade da água subterrânea – NE – constitui o mais importante fator para avaliar a vulnerabilidade, pois define automaticamente a espessura da zona vadosa em que podem ocorrer os processos de atenuação das cargas contaminantes.

O gráfico da figura 8.3 apresenta a distribuição dos valores do NE dos poços cadastrados nesse município, segundo as mesmas faixas de valores constantes do esquema para avaliação da vulnerabilidade (figura 8.2).

Embora a maioria desses valores situe-se entre 5 e 20 m (60,4%), é muito preocupante o número de 57 poços (22,8%) com NE entre 0 e 5 m, como também a constatação de que 50% dos poços têm seu NE inferior a 10 m.

Essa preocupação torna-se exacerbada quando se observa a distribuição dessa variação do NE ao longo do município de Belo Horizonte – figura 8.4, onde se constata que os 50% correspondentes aos poços com NE inferior a 10 m ocupam uma área muito mais extensa que os outros 50%, que correspondem a áreas isoladas onde os picos mais acentuados (>50 m) podem encontrar duas justificativas: influência da topografia na locação dos poços, já que a falta de alternativa para escolha de locais mais baixos na área urbana resulta em variadas condições de relevo para a locação desses poços: erro de medição do nível estático por parte do sondador ou erro na confecção do perfil do poço.

Deve ser, assim, muito significativa a utilização de índices variando entre 0,8 e 1,0 ao longo desse município, na caracterização das condições de atingir a zona saturada, segundo o esquema proposto na figura 8.2.

Face ao exposto, pode-se concluir que a espessura da zona vadosa, em decorrência da profundidade do NE, constitui um fator bastante desfavorável para a configuração da vulnerabilidade das águas subterrâneas de Belo Horizonte.

8.4. MAPA DE VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM BELO HORIZONTE.

A interação de todos os fatores considerados como responsáveis pela caracterização da vulnerabilidade das águas subterrâneas na área estudada, abordados nos itens precedentes, foi realizada utilizando o esquema proposto na figura 8.2.

Ratifica-se que nessa avaliação não foi considerada a influência das cargas contaminantes eventualmente presentes

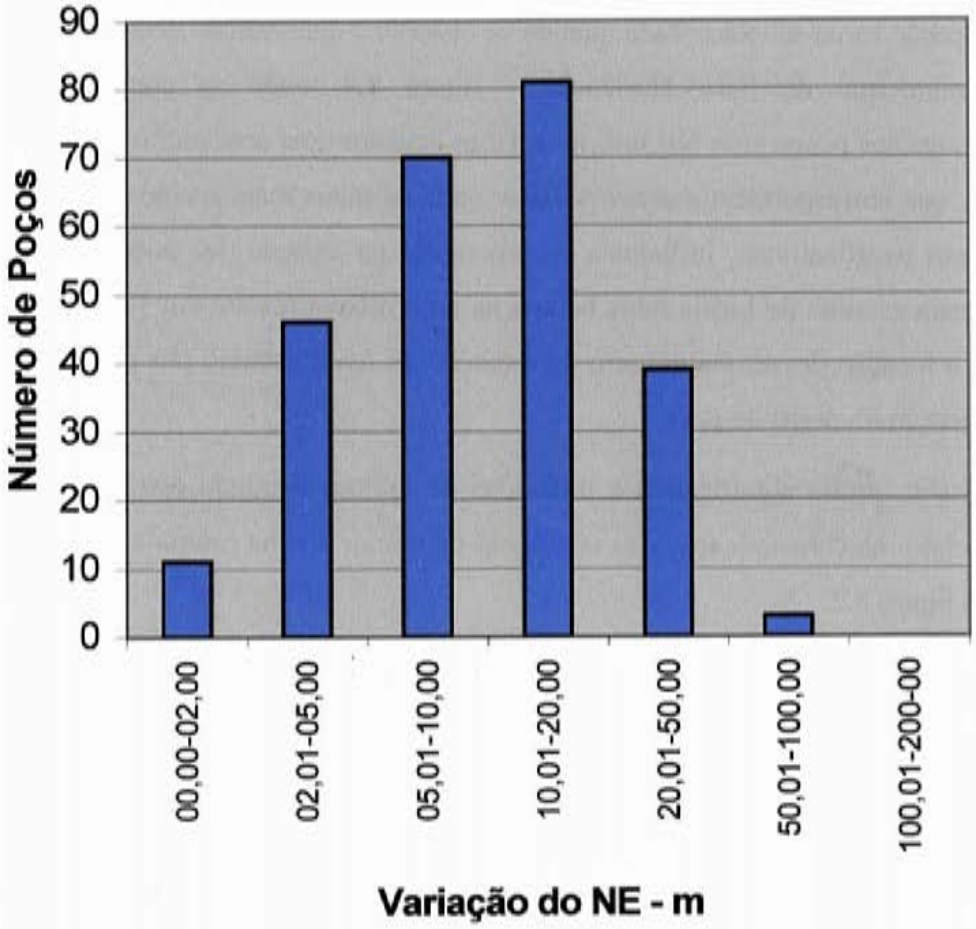


FIGURA 8.3 - VARIAÇÃO DO NÍVEL ESTÁTICO

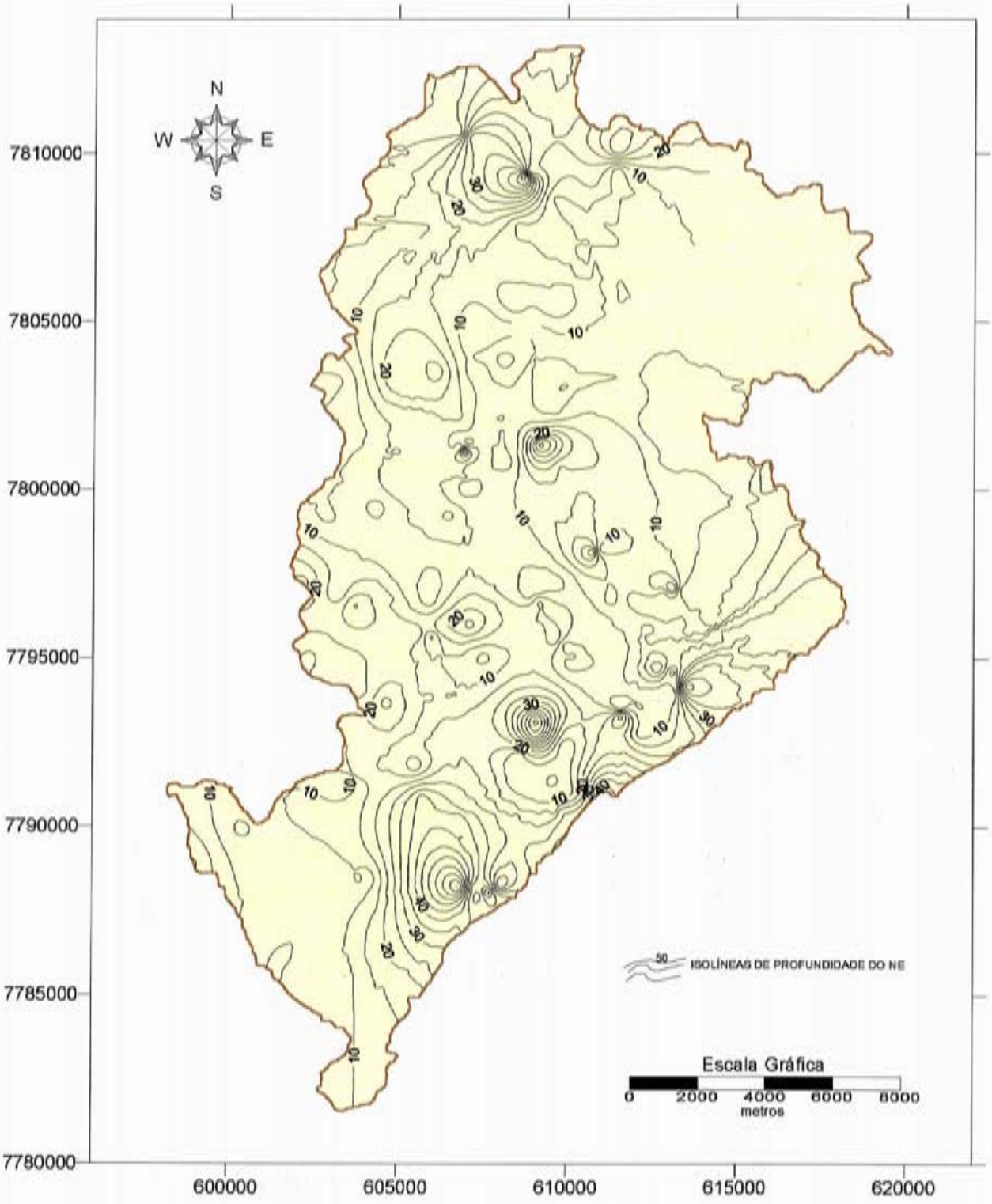


FIGURA 8.4
MAPA DE PROFUNDIDADE DO NE

Dessa avaliação resultou o ***mapa de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas no município de Belo Horizonte,*** consubstanciado na figura 8.5.

Observa-se nesse mapa que a vulnerabilidade dos aqüíferos desse município varia entre **média** e **alta**, aproximadamente nas mesmas proporções. Todavia, as áreas de alta vulnerabilidade correspondem à zona mais central desse município, onde a ocupação antrópica é mais intensa. É nessa região que a vulnerabilidade atinge o nível **extremo** em 12 locais diferentes, variando esses locais, desde 0,08 km^2 até 4,0 km^2 de extensão.

Constata-se assim, que a maior parte do município de Belo Horizonte apresenta aqüíferos susceptíveis a quase todos contaminantes, sendo as chances de evitar qualquer tipo de contaminação relacionadas com as dificuldades impostas pela obstaculação à penetração desses contaminantes no subsolo, e com a presença localizada de maior teor de argila na zona de cobertura.

Embora a situação global descortinada nesse mapa não favoreça a vulnerabilidade das águas subterrâneas desse município, é possível que muitos casos revelem boa condição para atenuação de eventuais contaminantes na zona vadosa, impedindo o seu acesso até a zona saturada.

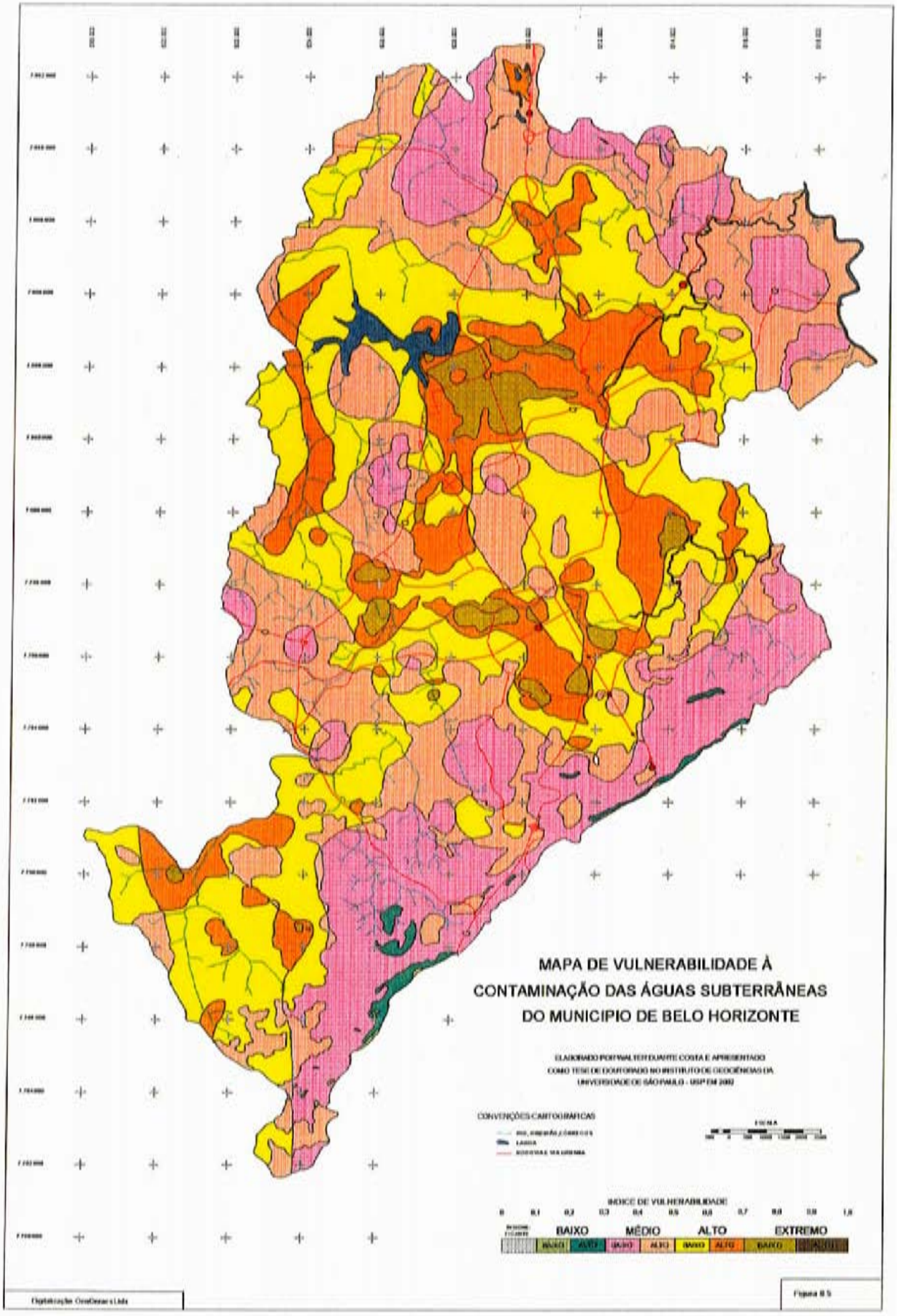
Assim, o mapa apresentado na figura 8.5 deve ser encarado como uma base para nortear futuras investigações mais detalhadas.

Ainda na presente pesquisa, esse mapa será analisado à luz do conhecimento atual sobre os diversos tipos de cargas contaminantes caracterizadas nesse município, visando zonear áreas em que já existe um variado risco de contaminação das águas subterrâneas na área pesquisada.

Assim, serão feitas no capítulo 9 as seguintes interações através de mapas específicos:

- vulnerabilidade x postos distribuidores de combustíveis
- vulnerabilidade x indústrias
- vulnerabilidade x aterros sanitários, cemitérios e hospitais

A análise integrada desses mapas ensejará, no capítulo 10, a elaboração do mapa de riscos de contaminação das águas subterrâneas do município de Belo Horizonte.


MAPA DE VULNERABILIDADE À
CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
DO MUNICIPIO DE BELO HORIZONTE
ELABORADO POR WALTER DUARTE COSTA E APRESENTADO
COMO TESE DE DOUTORADO NO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP EM 2002
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS
INDICE DE VULNERABILIDADE
BAIXO
MÉDIO
ALTO
EXTREMO
Figura 8.5

9. CARGAS CONTAMINANTES

No capitulo precedente foi analisado um dos critérios básicos para a análise do risco de contaminação de um aqüífero – a vulnerabilidade – segundo o esquema conceitual proposto por Foster & Hirata (op.cit.) e apresentado na figura 7.1.

Embora esse critério dependa fundamentalmente das características intrínsecas do meio ambiente, pode sofrer modificações e influências antrópicas, como a obstaculação à infiltração que ocorre nas grandes cidades.

O outro critério interveniente no risco de contaminação – carga contaminante – depende unicamente da ação antrópica, daí porque é mais importante a sua precisa caracterização, objetivando reduzir ou eliminar os seus efeitos adversos para o processo de contaminação das águas subterrâneas.

Como mostrado na figura 7.1, somente o efeito combinado desses dois critérios poderá estabelecer condições que representem efetivamente um risco de contaminação do aqüífero, sendo totalmente inócua a caracterização de um aqüífero como de alta vulnerabilidade se há ausência da carga contaminante, o que é válido também no sentido inverso.

Em conseqüência, as diversas cargas contaminantes eventualmente presentes no cenário estudado devem ser tipificadas, qualificadas e, na medida do possível, quantificadas.

9.1. CARACTERIZAÇÃO DAS CARGAS CONTAMINANTES

Considerando que o cenário pesquisado corresponde à zona urbana, as cargas contaminantes podem ser classificadas segundo os seguintes critérios: modo de emissão; tipificação do principal contaminante; e sobrecarga hidráulica. Segundo o **modo de emissão** a carga contaminante pode ser pontual, difusa ou linear.

A ***carga pontual*** é emitida em um ponto conhecido e bem determinado, seja em superfície ou no subsolo. Esse tipo de carga é mais facilmente detectado, podendo ser mais bem caracterizada a sua propagação tanto na zona vadosa como na saturada.

A ***carga difusa*** ou ***dispersa*** pode resultar da emissão de uma grande quantidade de cargas pontuais, quando também é chamada de ***multipontual,*** ou apresentar uma grande extensão por

desconhecimento da localização de cargas pontuais. Um exemplo do primeiro caso é o saneamento ineficiente, onde os excrementos são infiltrados através de inúmeras fossas negras, resultando em uma grande densidade de cargas pontuais. Como segundo caso, pode ser exemplificado o vazamento em inúmeros pontos de uma rede de esgotos mal conservada. Pela dificuldade em detectar as origens e pela extensão que podem atingir, as cargas difusas oferecem maiores problemas para serem diagnosticadas, prevenidas e remediadas.

A ***carga linear*** é uma particularidade da carga difusa, quando a emissão do contaminante ocorre ao longo de um determinado lineamento, como, por exemplo, na infiltração das águas poluídas de um rio influente (alimentador do aqüífero).

Com relação à **tipificação do principal contaminante**, embora existam milhões de compostos orgânicos e inorgânicos, podem os mesmos ser agrupados segundo seus comportamentos específicos em subsuperfície nos seguintes conjuntos: *nutrientes; patógenos fecais; compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica; sais; e metais pesados.*

Finalmente, quanto à **sobrecarga hidráulica**, esta pode ser *reduzida* ou *elevada.*

Segundo esses critérios classificatórios, Foster & Hirata (1988) sumarizaram as principais atividades potencialmente geradoras de cargas contaminantes em subsuperfície, conforme apresentado no Quadro 9.1

QUADRO 9.1 - SUMÁRIO DAS PRINCIPAIS ATIVIDADES POTENCIALMENTE GERADORAS DE CARGA POLUIDORA (FOSTER & HIRATA, 1988)

ATIVIDADE	CARACTERÍSTICA DA CARGA POLUIDORA		
	DISTRIBUIÇÃO	PRINC.POLUENTE	SOBREC.HID.
Saneamento "in situ"	P-D	nfo	+
Vazamento de esgotos	P-L	ofn	+
Lagoas de oxidação	P	ofn	++
Aplicação de águas residuais em superfície	P-D	nsof	+
Rios e canais de recreação	P-L	nof	++
Lixiviado de lixões/aterros sanitários	P	osm	-
Tanques de combustíveis	P-D	o	-
Drenos de rodovias	P-D	so	+
Vazamento de tanques/tubos industriais	P-D	om	-
Derramamento acidental	P-D	om	+
Lagoas de efluentes industriais	P	oms	++
Lançamento de efluentes em superfície	P-D	oms	+
Canais e rios receptores	P-L	oms	++
Lixiviado de resíduos sólidos	P	oms	-
Drenos de pátios	P	oms	++
Material em suspensão de gases	D	so	-

P/L/D – Pontual/Linear/Difuso n = nutrientes; f = patógenos fecais; o = compostos fecais; s = sais
m = metais pesados + reduzida; ++ elevada

Nesse quadro foram suprimidas as atividades relacionadas com a agricultura e a extração mineral, por serem consideradas insignificantes na área estudada.

Uma classificação mais completa é a apresentada pelo U.S.Congres Office of Technology Assessment - USCOTA (in Reichard et al, 1990), que leva em consideração a fonte de emissão da carga contaminante. Essa classificação acha-se reproduzida no Quadro 9.2, incluindo as atividades não presentes no cenário atualmente estudado.

QUADRO 9.2 - CLASSIFICAÇÃO DE FONTES DE CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – USCOTA-1984

CATEGORIA I - Fontes projetadas para descarregar substâncias	**CATEGORIA III – Fontes projetadas para reter substâncias durante transporte ou transmissão**
Percolação subterrânea (fossas, tanques sépticos etc) Poços de injeção Aplicação no solo de: Água residual (irrigação por aspersão, p.e.) Subproduto de água residual (lama, p.e.) Resíduos perigosos e não perigosos	Tubulação Transporte de materiais e Operações de Transferência
	CATEGORIA IV - Fontes liberando substâncias como conseqüência de outras atividades planejadas
CATEGORIA II - Fontes projetadas para armazenar e/ou dispor de substâncias; descarga através de ações planejadas	Práticas de irrigação Aplicação de pesticida Aplicação de fertilizantes Operações envolvendo animais em estábulo Aplicação de sal para descongelamento de gelo Escoamento urbano Percolação de Poluentes Atmosféricos Mineração e Lixiviação de Minas Mineração de superfície Mineração de subsuperfície
Aterros: Resíduos industriais perigosos ou não perigosos Aterro municipal Lixões incluindo disposição ilegal Disposição de Resíduos Residenciais (locais) Lagoas superficiais Rejeito de resíduos Pilhas de resíduos Cemitérios Sepultamento de animais Tanques de armazenamento acima da superfície Tanques de armazenamento subterrâneos Depósitos em containers Escavações abertas e áreas de explosão Áreas de disposição de material radioativo	**CATEGORIA V - Fontes que providenciam conduto ou induzem descarga através de padrões de fluxo alterados** Poços de extração Poços de óleo ou gás Poços geotermais e de recuperação de calor Poços de suprimento
	CATEGORIA VI - Fontes de ocorrências naturais em que a descarga é criada ou exacerbada pela atividade humana Interações de Água Subterrânea e Superficial Percolação Natural Intrusão de Água Salgada/Salobra (ou intrusão de outra água natural de baixa qualidade)

Observa-se nessas classificações de atividades geradoras de cargas contaminantes a ausência de algumas atividades que podem ser significativas em uma zona urbana como a estudada. Assim é

que, as atividades hospitalares não estão incluídas em nenhuma dessas classificações e os cemitérios não foram incluídos na primeira classificação.

Por outro lado, algumas dessas cargas contaminantes, principalmente na classificação da USCOTA, são relacionadas com atividades que não se coadunam com o cenário urbano, tornando a classificação, como um todo, inaplicável ao presente caso.

Agrupando nesses quadros as atividades que realmente interessam ao presente estudo e incluindo aquelas não abordadas, podemos sintetizar como atividades geradoras de cargas contaminantes a serem pesquisadas as seguintes:

- Postos de Combustíveis
- Indústrias
- Depósitos de resíduos sólidos
- Cemitérios
- Hospitais
- Saneamento Básico

Para cada carga contaminante gerada por essas atividades será procedida uma caracterização cuja acuidade dependerá da qualidade e quantidade dos dados obtidos nessa pesquisa. As principais características com respectivas necessidades de informação são as seguintes:

a) Mobilidade e Persistência do contaminante

- possibilidade de ocorrência do contaminante
- aspectos gerais da mobilidade do contaminante
- aspectos gerais das reações químicas passíveis de ocorrer
- persistência relativa do contaminante

b) Intensidade do contaminante

- concentração máxima possível do evento
- tipo de fonte contaminante

c) Modo de Disposição

- profundidade da descarga do contaminante
- carga hidráulica
- forma de emissão: contínua ou intermitente

d) Duração da carga contaminante

- duração da aplicação
- probabilidade de ocorrência da carga

9.2. POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

9.2.1. Problemática de vazamentos de combustíveis

O vazamento de combustíveis das mais variadas naturezas revelou-se um dos mais graves problemas ambientais nos países industrializados nas últimas duas décadas, merecendo destaque as pesquisas desenvolvidas sobre esse assunto nos Estados Unidos da América, Inglaterra e Alemanha, onde podem ser citados os trabalhos de Mackay et al (1985), Hillel (1988), Abriola (1988) e Hunt et al (1988).

No Brasil, esse tema despertou imensamente a comunidade científica na última década, destacando-se as pesquisas de Oliveira (Oliveira et al, 1998 e Oliveira, 1992), Corseuil et al (1997), Guiger (1996), Dias et al (1998) e Loureiro et al (1997).

O vazamento de combustíveis pode ocorrer em qualquer instalação de armazenamento desses produtos, entre os quais se destacam, postos distribuidores, empresas de transporte rodoviário e ferroviário, indústrias e aeroportos.

Essa grande diversificação de atividades que armazenam combustíveis é responsável pelo maior problema no controle de vazamentos, que é o desconhecimento pelos órgãos fiscalizadores do número exato de tanques que armazenam esses produtos, bem como de sua condição de estanqueidade.

Esse problema não é privilégio do Brasil, pois uma referência da EPA (United States Environmental Protection Agency – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) em 1992 (citado por Guiger, 1996) revela que, de 2.223.000 locais com tanques subterrâneos de combustíveis nos EUA, 65% não estavam regulamentados no Departamento de Tanques Subterrâneos de Armazenamento da EPA.

No Brasil o problema é maior, pois é provável que na maior parte das capitais (sem falar nas demais cidades) o número total desses tanques seja completamente desconhecido.

Também é muito diferente a situação referente ao conhecimento de vazamentos no exterior e no Brasil.

Em setembro de 1992, a EPA já havia recebido comunicação de 184.000 vazamentos confirmados nos EUA, com 65.000 processos de descontaminação iniciados, sendo previsto que o número de vazamentos chegaria a 360.000 até 1997 (Guiger, 1996).

Guardadas as mesmas proporções, é possível esperar que hoje existam no Brasil mais de 100.000 vazamentos em tanques de armazenamentos, porém os números conhecidos são irrisórios. O Estado de São Paulo, que mais tem pesquisado e controlado esse problema, detectou 328 vazamentos no período 1984-2001 (CETESB, in BRANDT, 2001) e na cidade de Belo Horizonte a pesquisa que embasou o presente trabalho detectou apenas 8 (oito) vazamentos significativos.

Esses números, longe de revelarem uma situação tranqüilizadora para nossos aqüíferos, retratam apenas a falta de condições existentes em nossos órgãos para promover um controle efetivo desse lastimável tipo de contaminação.

Essa falta de controle no Brasil torna-se mais grave em algumas situações em que solos ácidos aumentam a possibilidade de corrosão de tanques e tubulações enterradas. Também a distribuição de álcool como combustível, bastante intensificada no período 1975-1995, pode ter exercido uma influência negativa na possibilidade de contaminação da água subterrânea, como será adiante explicado.

Como possível atenuante desse risco imprevisível, pode-se aventar as condições climáticas que propiciam a dissolução desses contaminantes nas regiões que recebem maior precipitação pluviométrica, além de, em conseqüência, propiciarem a formação de solos residuais mais espessos, com todas suas características autodepurativas para as cargas contaminantes.

As causas de tais vazamentos são inúmeras, porém na maior parte dos casos se enquadram entre as seguintes:

- vazamentos no sistema devido à corrosão;
- falhas estruturais do tanque ou da tubulação;
- instalação inadequada;
- derramamento durante a transferência do produto para o tanque

Nos Estados Unidos, uma pesquisa realizada pelo Departamento de Recursos Ambientais da Pensilvânia (in Guiger, 1996) revelou como principais as três seguintes causas:

- corrosão: 62% (61% em tanques e 39% nas tubulações)
- problemas nas juntas: 19%
- instalação inadequada do tanque: 13%

Nos 328 acidentes constatados no Estado de São Paulo, as causas foram as seguintes:

- vazamento do tanque e tubulações por corrosão, trinca ou quebra: 82,7 %
- falha humana na operação, carregamento ou manutenção: 15,2 %

- choque/acidente com veículos: 1,8 %
- raios ou chuvas intensas: 0,3 %

Considerando que a corrosão nos tanques é comprovadamente a principal causa, pode-se avaliar quantos vazamentos desconhecidos ocorrem por esse Brasil, em locais onde há tanques com mais de 20 anos de uso, construídos sem os cuidados que hoje são adotados contra a corrosão e que não são alvo de qualquer controle pelos órgãos ambientais existentes. Os seus proprietários só tomam qualquer providência, como trocar os tanques, quando as perdas provocadas pelos vazamentos começam a pesar em seu bolso. Até que isso aconteça, muitos litros de combustíveis já terão vazado, provocando eventualmente a contaminação dos aqüíferos locais.

Nos Estados Unidos, a experiência tem mostrado que a vida média de um tanque subterrâneo é de aproximadamente 20 anos e as chances de ocorrer vazamentos aumentam significantemente após os 10 anos de utilização (Guiger, 1996).

Na pesquisa que embasou o presente trabalho as investigações se restringiram aos postos distribuidores de combustíveis, pois estes são responsáveis pelo armazenamento e venda de 97% da gasolina e 98% do álcool combustível consumido na cidade de Belo Horizonte, segundo dados do Ministério de Minas e Energia.

9.2.2. Combustíveis Comercializados e suas Características

9.2.2.1. Tipos de Combustíveis

Os derivados de petróleo são formados por uma mistura complexa de compostos orgânicos líquidos, não miscíveis com água, que compõem um grupo especial de poluidores potenciais do solo e da água identificados pela sigla LNAPL, significando *líquidos leves de fase não aquosa (Light Non-Aqueous Phase Liquid).*

Esses combustíveis são formulados a partir de diferentes tipos de refinação do petróleo para atender às especificações industriais de propriedades físicas e padrões desejados de desempenho. Assim, além das combinações referentes aos tipos de refinação, são ainda utilizados aditivos e agentes de mistura para melhorar o desempenho e a estabilidade do combustível.

Os hidrocarbonetos derivados dessa refinação incluem o etanol, as gasolinas e os destilados médios. Entre esses últimos estão o óleo diesel, óleo para aquecimento, querosene e

combustíveis para jato, porém no presente estudo será abordado apenas o óleo diesel, já que os demais não são comercializados nos postos de distribuição.

O **etanol** é fornecido para consumo de duas formas:

- hidratado (álcool hidratado)
- em mistura com a gasolina (álcool anidro)

O **álcool hidratado,** distribuído nos postos de combustíveis de todo o mundo, é uma mistura de etanol com uma pequena proporção de água e, embora possua a mesma composição química que o álcool anidro, adicionado à gasolina, apresenta algumas propriedades diferentes.

No Brasil o álcool hidratado é proveniente da fermentação da biomassa da cana-de-açúcar, produzindo solução aquosa a 10% que após desidratação passa a ser utilizada como combustível, com as mesmas propriedades do álcool proveniente do etanol.

A **gasolina** é composta por centenas de constituintes, em sua maioria hidrocarbonetos leves, com 5 a 12 átomos, como os alcanos, alquenos e os compostos alifáticos e aromáticos. Entre os alifáticos destacam-se o butano, o penteno e o octano e entre os compostos aromáticos sobressaem-se pelo seu potencial poluidor o conjunto denominado BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno). Desses hidrocarbonetos, o mais problemático em termos de toxidade é o benzeno, pois os outros possuem radicais que são adicionados ao anel benzênico (constituído por 6 átomos de carbono e 6 átomos de hidrogênio formando uma cadeia cíclica com 3 ligações duplas) e tais radicais facilitam a oxidação da molécula que constitui esse anel. O benzeno não possui esses radicais, sendo por isso dificilmente oxidado bioquimicamente.

O etanol, que é misturado à gasolina na forma de álcool anidro, apresenta um comportamento de co-solvente, aumentando a solubilidade da gasolina em água e retardando em até 5 vezes o tempo de biodegradação aeróbica dos compostos BTEX (Corseuil et al, 1996).

Em conseqüência, a expansão da pluma de contaminação dessa mistura poderá aumentar entre 25 e 40%, dependendo do volume de álcool adicionado à gasolina. Apesar de ser recomendado em geral uma adição de álcool em torno de 10%, esse percentual se eleva até quase 25% no Brasil, tornando bem maior o impacto ambiental causado por um vazamento desse produto.

O **óleo diesel** corresponde a uma fração mais pesada da destilação do petróleo, contendo geralmente hidrocarbonetos com 6 a 22 átomos de carbono, como os policíclicos aromáticos – PAH (Polycyclic aromatic hydrocarbons – hidrocarbonetos aromáticos policíclicos) onde se incluem antraceno, nafataleno, fenatreno e pireno. O alto teor de enxofre (0,5% em peso)

presente nesse combustível agrava a poluição atmosférica. A exemplo da gasolina, pode conter centenas de constituintes individuais, embora com menores concentrações de aromáticos como o BTEX (menos de 1,5% em peso), o que o torna mais viscoso e menos volátil que a gasolina, produzindo em conseqüência, menor impacto ambiental quando relacionado a vazamentos.

Tanto a gasolina como o diesel pode conter aditivos e oxigenados. Os **aditivos** consistem de antioxidantes, inibidores de meta e detergentes, que formam menos de 0,5% (em volume) em qualquer um desses combustíveis. Os **oxigenados** consistem de intensificadores de octano, visando aumentar a combustão da gasolina, melhorando o rendimento do motor. Entre os compostos oxigenados destacam-se o metanol, o etanol, o isopropanol e os éteres, podendo chegar a mais de 10% em volume em algumas gasolinas. O aumento da octanagem da gasolina era antes obtido com compostos de chumbo, que tornavam a gasolina mais tóxica, daí ter sido proibida a sua utilização a partir de 1980.

9.2.2.2. Características dos combustíveis e de seus constituintes

As características dos combustíveis acima descritas dependem das propriedades físicas e químicas de seus constituintes, e suas variações influem decisivamente na mobilidade e possibilidade de retenção desses combustíveis, fatores que definem o potencial de contaminação desses poluentes.

As principais propriedades que afetam as características dos combustíveis são: densidade, viscosidade dinâmica, solubilidade e volatilidade.

A **densidade** é definida como a massa por unidade de volume. Nos combustíveis, essa propriedade é muito importante por ser sempre inferior à densidade da água, pelo que, a densidade específica é sempre menor que 1,0.

A **viscosidade dinâmica** é a medida da resistência de um fluido para escoar, sendo tal propriedade muito significativa para a percolação do fluido em meio poroso, pois quanto mais viscoso, mais dificuldade terá o fluido em atravessar os meios com poros reduzidos, o que diminui sensivelmente a sua mobilidade nesse meio. Um aumento de temperatura tende a baixar tanto a densidade quanto a viscosidade, aumentando a mobilidade dos combustíveis líquidos no solo.

A **solubilidade** é a medida de quanto um determinado constituinte pode dissolver em água. O petróleo líquido não se mistura com a água, entretanto, seus produtos refinados contêm hidrocarbonetos que apresentam grau variável de solubilidade em água, sendo essa variabilidade muito importante na mobilidade dos diferentes compostos ao percolarem na zona vadosa.

A solubilidade em água desses hidrocarbonetos varia em função de vários fatores como a temperatura, o pH e a presença de outras substâncias. Assim, se um determinado hidrocarboneto faz parte de uma mistura que entra em contato com a água como, por exemplo, a gasolina, sua concentração vai depender de sua proporção na composição da mistura.

Para esclarecer melhor essa situação, pode-se observar a diferença entre a solubilidade dos aromáticos leves (BTEX), quando em contato em separado com a água pura e quando esse contato é realizado através da mistura desses compostos na gasolina (Quadro 9.3)

QUADRO 9.3 - COMPARAÇÃO DAS SOLUBILIDADES DOS COMPOSTOS BTEX ATUANDO ISOLADAMENTE E MISTURADOS NA GASOLINA

SUBSTÂNCIA	ISOLADA – ppb	MISTURA - ppb
Benzeno	1.780.000	30.500
Tolueno	524.000	31.400
Etilbenzeno	175.000	4.040
Xileno	193.000	13.900

Fonte: Guiger, 1996

A **volatilidade** indica a tendência de um constituinte líquido se volatilizar, passando para a fase de vapor. Quanto maior for a pressão de vapor, maior será a volatilização do líquido, que dependerá da soma das pressões parciais dos constituintes individuais de cada combustível. A volatilidade é inversamente proporcional ao peso molecular, daí serem mais voláteis as substâncias que possuem cadeias com menor número de átomos de carbono. As substâncias mais voláteis evaporam mais facilmente e apresentam pontos de ebulição mais baixos.

O Quadro 9.4 apresenta, além das propriedades acima descritas, os limites de flamabilidade e o ponto de fulgor da gasolina, do diesel e de dois oxigenados que são mais comumente adicionados a esses combustíveis – metanol e etanol, enquanto o Quadro 9.5 apresenta as principais propriedades de alguns constituintes desses combustíveis.

QUADRO 9.4 - PROPRIEDADES DOS OXIGENADOS, GASOLINA E DIESEL

PROPRIEDADE	GASOLINA	DIESEL	METANOL	ETANOL
Fórmula	C_4 a C_{12}	C_8 a C_{25}	CH_3OH	C_2H_5OH
Peso molecular	100-105	≈ 200	32,04	46,07
Densidade kg/m³ @ 15,5°C	720 -780	803 - 887	794	792
Pressão de vapor Reid Mm Hg	413 - 775	10,34	237,82	118,91
Limites de flamabilidade % de volume				
Menor	1,4	1,0	7,3	4,3
Maior	7,6	6,0	36,0	19,0
Viscosidade				
centipoise @ 20°C	0,37 – 0,44	2,60 – 4,10	0,59	1,19
centipoise @ -20°C	0,60 – 0,77	9,70 – 17,6	1,15	2,84
Ponto de faísca, °C	-42,78	73,89	11,11	12,78
Solubilidade em água				
% de volume @ 21°C	traço	traço	100	100
mg/L @ 20°-25°C	98 - 240	2,7 – 3,2	∞	∞

Fonte: Guiger, 1996

QUADRO 9.5 - PROPRIEDADES DE ALGUNS CONSTITUINTES DE COMBUSTÍVEIS

SUBSTÂNCIA	FÓRMULA EMPÍRICA	PESO MOLECULAR	SOLUBILIDADE EM ÁGUA A 25°C – mg/L	PRESSÃO DE VAPOR A 20°C - mmHg	CONSTANTE ADSORÇÃO L/kg
n-butano	C_4H_{10}	58,12	61,4	1560	490
Isobutano	C_4H_{10}	58,12	48,9	2250	420
n-pentano	C_5H_{12}	72,15	41,2	424	910
Iso-pentano	C_5H_{12}	72,15	48,5	575	880
1-penteno	C_5H_{10}	70,14	148,0	531	460
n-hexano	C_6H_{14}	86,18	12,5	121	1900
1-hexeno	C_6H_{12}	86,16	50,0	150	910
2-metilpentano	C_6H_{14}	86,18	14,2	172	1500
ciclohexano	C_6H_{12}	84,16	59,7	77,6	960
benzeno	C_6H_6	78,11	1780,0	75,2	190
n-heptano	C_7H_{16}	100,20	2,68	35,6	4300
2-metilhexano	C_7H_{16}	100,23	2,54	51,9	3200
metilciclohexano	C_7H_{14}	98,19	15,0	36,2	1800
tolueno	C_7H_8	92,14	537,0	21,8	380
n-octano	C_8H_{18}	114,23	0,66	10,5	8200
2,4-dimetilhexano	C_8H_{18}	114,23	1,50	23,3	5200
etilbenzeno	C_8H_{10}	106,17	157,0	7,08	680
xileno	C_8H_{10}	106,17	162,0	6,16	720
2,2,4-trimetilhexano	C_9H_{20}	0,80	11,3	11,3	8700
1,3,5-trimetilbenzeno	C_9H_{12}	120,20	72,6	1,73	940
2,2,5,5-tetrametilhexano	$C_{10}H_{22}$	142,49	0,13	6,47	14000
1,4-dietilbenzeno	$C_{10}H_{14}$	134,22	15,0	0,697	2900
dodecano	$C_{12}H_{26}$	170,30	0,005	0,075	88000

Fonte: Guiger, 1996

Analisando esses quadros podem-se tirar as seguintes conclusões:

- em relação ao diesel a gasolina é mais leve (88%), menos viscosa (8 a 20 vezes menor), mais volátil (57 vezes mais) e mais solúvel (36 vezes mais);
- os compostos oxigenados apresentam solubilidade quase duas vezes maior que os aromáticos leves;
- os constituintes de hidrocarbonetos que apresentam maior solubilidade são os aromáticos leves, como o benzeno, o tolueno, o etilbenzeno e o xileno;
- os constituintes mais leves, como o isobutano, apresentam volatilidade e pressão de vapor maiores.

Em função dessas conclusões, pode-se constatar que a gasolina apresenta muito maior mobilidade e persistência ao longo da zona vadosa do que o diesel, apresentando conseqüentemente, um potencial poluidor muito mais elevado para as águas subterrâneas.

Esse combustível também apresenta maior capacidade de se volatilizar, criando problemas ambientais de outra natureza, como será analisado no item seguinte.

9.2.3. Mecanismo da Contaminação por Derivados de Petróleo

Quando ocorre um vazamento de combustível, na maior das vezes a partir de um tanque que o armazena em subsuperfície, os hidrocarbonetos que o compõem em fase líquida vão migrar em função das forças de gravidade e capilar, pelo que predomina o fluxo descendente na vertical.

Ao encontrar horizontes do solo com condutividade hidráulica mais reduzida, como as argilas, esse fluxo encontra resistência, provocando um espalhamento da fase líquida desse combustível, que irá formar lentes de combustível concentrado como mostrado na figura 9.1. Essas lentes vão formar a ***fase líquida livre*** do combustível na zona vadosa.

Por descontinuidade do horizonte mais impermeável ou pela carga hidráulica representada pelo depósito dessa fase livre, sempre ocorre um "vazamento" a partir desse horizonte, continuando o combustível a migrar descendentemente até ser novamente interceptado por outro horizonte de condutividade hidráulica mais baixa, quando vai formar nova fase líquida livre, como mostrado nessa figura.

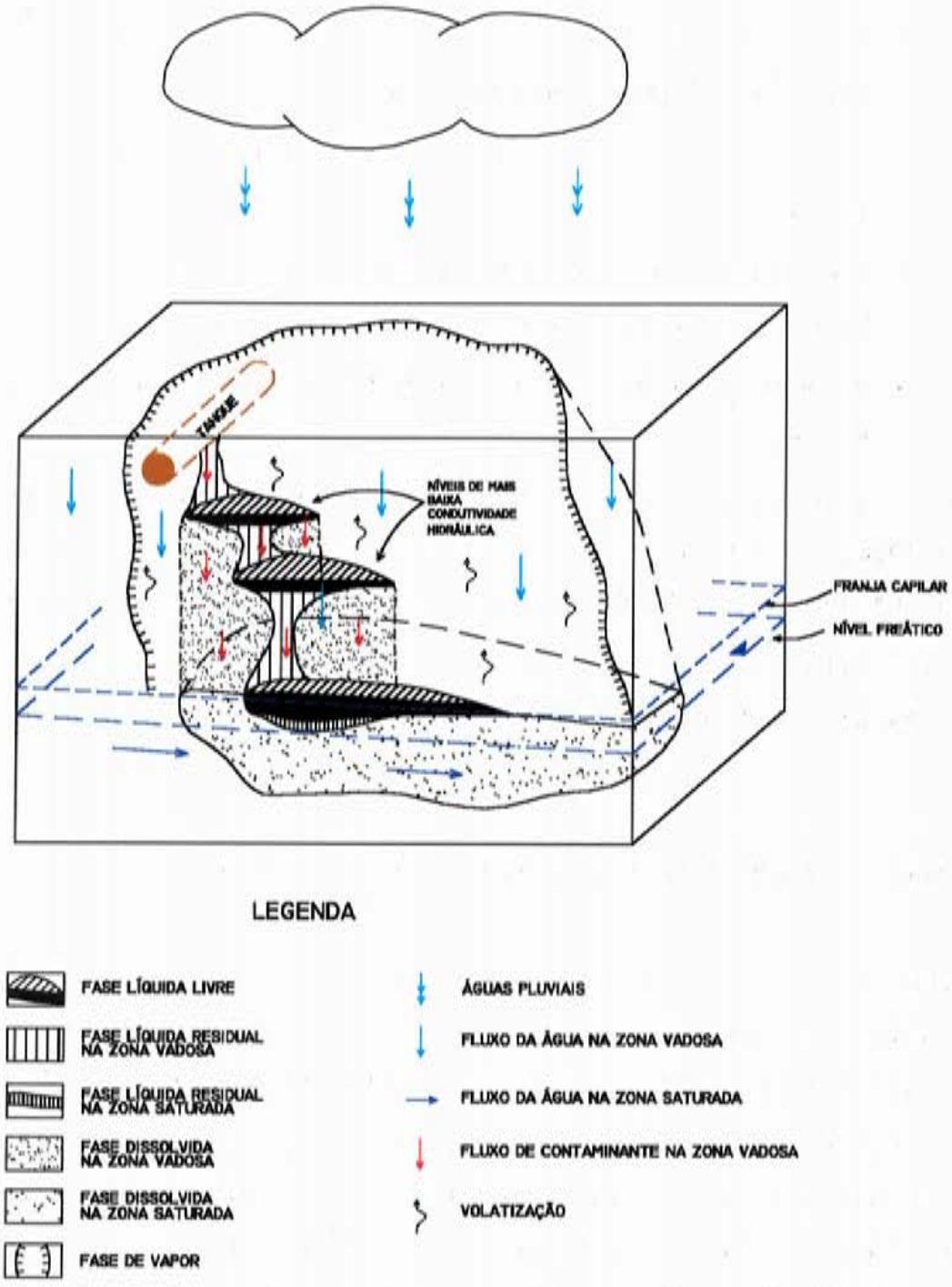


FIGURA 9.1 - MECANISMO DA CONTAMINAÇÃO POR COMBUSTÍVEIS

ADAPTADO DE GUIGER, 1996

Esse processo pode ficar restrito à zona vadosa em duas situações: quando se detecta a sua ocorrência no início do processo, podendo-se evitar que sua continuidade atinja a zona saturada; ou quando a zona vadosa é muito espessa e o vazamento é pequeno, sendo então possível que os hidrocarbonetos sejam retardados e/ou eliminados pelos processos de atenuação que podem ocorrer nessa zona.

Caso não ocorra uma dessas situações, a fase líquida continuará migrando descendentemente até atingir a franja capilar da zona saturada. Sendo os hidrocarbonetos menos densos que a água, será formada no topo do aqüífero uma nova fase líquida livre, que tenderá a mover-se lentamente segundo os processos de advecção ou de dispersão hidrodinâmica, acompanhando o movimento da água subterrânea.

A área ocupada pela fase livre é denominada de **pluma,** tanto localizada na zona vadosa quanto na zona saturada, e tenderá a crescer, geralmente de forma elíptica, em função da inclinação do nível freático (quanto maior for o gradiente hidráulico mais estreita será a elipse). A velocidade dessa movimentação pode variar significantemente, dependendo de fatores como a velocidade do fluxo da água subterrânea, o volume do vazamento que chega ao aqüífero e a condutividade hidráulica do aqüífero, que pode assumir valores elevados e aleatórios no caso de aqüíferos fissurais, como os presentemente estudados. Em geral, essa velocidade varia entre 5 m/ano e 50 m/ano, mas pode extrapolar muito esses limites.

No movimento migratório descendente, desde o tanque até atingir o aqüífero, parte da fase líquida livre fica retida nos poros pelo efeito das forças capilares e de adsorção, principalmente em presença da argila. O material assim adsorvido vai formar a ***fase líquida residual,*** também denominada de ***fase adsorvida***. Na figura 9.1 pode-se observar que esse material pode ser adsorvido na zona vadosa ou mesmo na zona saturada, principalmente na zona capilar.

A quantidade de combustível que fica retida na forma de fase líquida residual na zona vadosa varia de acordo com a textura do solo e do tipo de combustível, podendo alcançar concentrações como mostrado no Quadro 9.6.

Observe-se nesse quadro que o diesel é muito mais susceptível de ser adsorvido na zona vadosa, sendo tanto maior a concentração, quanto menor for a granulometria desse meio.

Quando o material é mais fino, ou seja, apresenta maior superfície específica como as argilas, a concentração do contaminante é maior, porém a pluma fica mais reduzida, ocorrendo o inverso para as granulometrias grosseiras com menor superfície específica.

QUADRO 9.6 - VALORES DE CONCENTRAÇÕES DE HIDROCARBONETOS LÍQUIDOS RESIDUAIS NA ZONA VADOSA

MEIO	GASOLINA		DIESEL	
	L/m^3	mg/kg	L/m^3	mg/kg
Cascalho	2,5	950	5,0	2200
Areia grossa	4,0	1500	8,0	3500
Areia média	7,5	2800	15,0	6500
Areia fina	12,5	4700	25,0	11000
Sedimento misto	20,0	7600	40,0	17000

Fonte: Guiger, 1996

Como muitos compostos desses combustíveis são muito solúveis em água, como os hidrocarbonetos aromáticos leves (BTEX) e os principais oxigenados (metanol e etanol), vai haver a formação de uma ***fase dissolvida*** dos combustíveis infiltrados quando em contato com a água.

Na zona vadosa, a fase dissolvida resulta da percolação das águas infiltradas ao longo das fases líquidas livre e residual, conforme esquematizado na figura 9.1.

Na zona saturada, a fase dissolvida é na maior parte conseqüência do contato da fase líquida livre com a água subterrânea, no que recebe também a contribuição desse contato com a fase líquida residual aí existente. O produto dessa dissolução permanece sobrenadando na zona saturada em função da menor densidade desses compostos, indo integrar, juntamente com a fase líquida livre, uma só pluma de contaminação desse aqüífero.

Vale ressaltar que essa pluma pode ter um sentido de escoamento ou movimentação completamente diferente de eventuais plumas formadas na zona vadosa, pois enquanto esta é função das heterogeneidades do solo de cobertura na zona não saturada, onde a textura, a porosidade e a condutividade hidráulica influem decisivamente no direcionamento dessa pluma, aquela é função do movimento de advecção desenvolvido no aqüífero e das descontinuidades que caracterizam o aqüífero fissural. Ainda na zona saturada o movimento da pluma de contaminação sofre influência da dispersão hidrodinâmica que provoca diluição das concentrações de hidrocarbonetos na fase dissolvida.

Finalmente, deve ser considerada a ***fase de vapor,*** resultante da volatilização de alguns hidrocarbonetos, principalmente presentes na gasolina, que apresenta uma volatilidade muito superior ao diesel.

A volatilização desses hidrocarbonetos ocorre principalmente a partir da fase líquida livre, com maior participação da fase livre da zona vadosa, embora possa também ocorrer na fase líquida residual e, em menor escala, a partir da fase dissolvida.

Como o vapor de hidrocarbonetos disputa com os vapores da água, contida na zona vadosa ao ser evaporada, os vazios existentes no solo, a água pode reduzir drasticamente a capacidade de adsorção do solo para hidrocarbonetos em fase de vapor, pelo que, um solo seco poroso pode adsorver tais hidrocarbonetos mais prontamente que um solo úmido.

Deve-se ainda observar que os hidrocarbonetos em fase de vapor podem ser remobilizados como hidrocarbonetos em fase dissolvida pelo influxo das águas que se infiltram na zona vadosa.

Os hidrocarbonetos em fase de vapor tendem a migrar das áreas de maior pressão para áreas de baixa pressão e, como esses vapores são mais densos que o ar, podem se acumular em garagem de prédios, galerias de esgotos, caixas de telefones ou qualquer outra estrutura aberta para a atmosfera, com elevado risco de provocar explosões ou incêndios. Dependendo da profundidade dessas estruturas, até mesmo a fase líquida livre ou a fase dissolvida existentes na zona vadosa poderão migrar até estas, onde será facilitada sua volatilização com os conseqüentes riscos acima mencionados.

A exemplo da fase líquida, os vapores de hidrocarbonetos formam plumas com direção e sentido de deslocamento muito variável em função das características de textura e umidade do solo, mas, em geral, não diferem muito da pluma da fase líquida livre presente na zona vadosa, embora possa ter sentido bastante diferente da pluma contaminante do aqüífero, como acima comentado.

Como os vapores de hidrocarbonetos possuem muita mobilidade, sua pluma pode ser utilizada para detectação de vazamentos e nortear melhor a investigação da fase líquida.

Em resumo, os hidrocarbonetos nas fases líquida e dissolvida representam uma maior ameaça para a qualidade das águas subterrâneas, enquanto na fase de vapor apresentam maior risco à segurança de pessoas e instalações próximas à superfície, devido à possibilidade de explosões e incêndios.

9.2.4. Efeitos Tóxicos e Impactos Ambientais

- De todos os constituintes dos diversos combustíveis analisados, os que apresentam maior toxidade são os compostos aromáticos, principalmente os leves da série BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno).
- Esses compostos são poderosos depressores do sistema nervoso central, apresentando toxidade crônica mesmo em pequenas concentrações.
- O benzeno é o mais tóxico dessa série, por ser comprovadamente cancerígeno se ingerido mesmo em baixas concentrações durante período de tempo não muito longo. Um total de 20 ppb inalado pode causar a morte de uma pessoa em poucos minutos, no entanto, sua concentração dissolvida em água pode chegar a 30.000 ppb (Oliveira et al, 1998)

  Moléculas de benzeno não são facilmente assimiladas pelo organismo humano, o que dificulta sua eliminação do organismo, facilitando sua acumulação em tecidos adiposos (Cole, 1994). Essa acumulação é que favorece os efeitos crônicos desse contaminante e que corresponde à absorção de pequenas concentrações dessa substância por um período longo. Assim é que, a inalação de 0,05 ppb de benzeno durante alguns anos pode causar anemia e leucopenia, e por longo tempo evoluir para uma leucemia.
- O tolueno ataca principalmente o sistema nervoso central, causando dores de cabeça, fadiga, sonolência e perda de coordenação, podendo ser fatal em alguns casos de exposição por inalação, pois impede uma respiração adequada (Guiger, 1996).
- O xileno causa náuseas, vômitos, irritação do nariz e da garganta, quando inalado, e irritação e escamação da pele quando em contato dermal.
- O etilbenzeno pode causar irritação nos olhos e garganta (ATSDR, 1989).
- Em termos ambientais, são também os aromáticos leves que provocam maiores impactos, pois suas características de solubilidade, viscosidade e volatilidade conferem a esses compostos uma elevada mobilidade, facilitando seu acesso até a zona saturada. A maior quantidade desses compostos na gasolina que no diesel, confere ao primeiro maior potencialidade como contaminante das águas subterrâneas.
- O etanol, que constitui 93% da composição do álcool etílico hidratado, não apresenta grande toxidade apesar de alterar o comportamento e o sistema nervoso central. Quando misturado com a gasolina apresenta dois grandes problemas ambientais: primeiro, atua como co-solvente no

processo de solubilização dos compostos BTEX, aumentando a mobilidade desses compostos na zona vadosa e acelerando a sua chegada até a zona saturada; depois, pode prejudicar a biodegradação dos compostos BTEX devido à sua ação inibidora do crescimento bacteriano. Em ambos os processos o etanol aumenta as possibilidades de contaminação da água subterrânea pela gasolina, seja pelo aumento da mobilidade ou pela redução dos processos de atenuação na zona vadosa.

O controle sobre os efeitos tóxicos desses combustíveis e de seus conseqüentes impactos ambientais tem sido baseado em padrões de qualidade da água para consumo humano, onde são considerados como mais problemáticos os aromáticos leves para a gasolina comum e o diesel.

O Quadro 9.7 apresenta uma relação de algumas das normas utilizadas em diversos países para efetivação desse controle, sendo incluídas duas normas brasileiras.

QUADRO 9.7 - VALORES CRÍTICOS DE COMPOSTOS TÓXICOS DE COMBUSTÍVEIS

NORMA	COMPOSTO - µg/L			
	BENZENO	TOLUENO	ETILBENZ.	XILENO
CAL.ST DHS	0,7	100	-	620
CCME	5,0	24	2,4	300
EPA	5,0	1.000	700	10.000
H&W	5,0	24	2,4	300
MOE	5,0	24	2,4	300
WHO	10,0	10	-	-
EEC	-	-	-	-
CETESB	10,0	-	-	-
MS-BR	5,0	170	200	300

CAL.ST DHS - The State of California Department of Health Services
CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment
EPA - United States Environment Protection Agency
H&W - Health and Welfare, Canada
MOE - The Ontario Ministry of Environment
WHO - The World Health Organization
EEC - The European Economic Community
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo
MS-BR - Ministério da Saúde do Governo Federal – Brasil

Fonte: **Guiger, 1996** acrescido do MS-BR

Observa-se nesse quadro, que apenas o benzeno apresenta uma certa coerência para os limites fixados nos diversos órgãos e países. O xileno é o mais controvertido, com limites variando desde 300 até 10.000 ppb.

No Brasil, somente em janeiro/2001 foram normalizados limites para toda a série de BTEX, existindo até então limite apenas para o benzeno, como mostrado no Quadro 5.9 para o MS e para o CETESB.

Até hoje não é conhecida na literatura internacional nenhuma norma que estabeleça limites para os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH) nem para o conjunto de hidrocarbonetos definido por TPH (hidrocarbonetos totais do petróleo).

9.2.5. Controle da Contaminação por Derivados de Petróleo em Belo Horizonte

A implantação e operacionalização de postos de comercialização de combustíveis veiculares em Belo Horizonte sempre foi regulada pela prefeitura desse município, embora esses empreendimentos tenham que ser obrigatoriamente registrados também na Agência Nacional do Petróleo – ANP.

As leis municipais que regulam a construção e funcionamento desses postos são as de nº 2390 de 16.12.74 e nº 6.978 de 16.11.95, todavia, a única preocupação ambiental contida nessas leis diz respeito às distâncias mínimas que os postos deverão guardar para escolas, hospitais e quartéis.

A partir de 19.12.97 o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA – passou a exigir, através da Resolução nº 237, estudos ambientais para licenciamento de todos os empreendimentos e atividades causadoras de significativa degradação do meio ambiente, no que estaria incluída a operacionalização dos postos de gasolina.

A Secretaria Municipal do Meio Ambiente – SMMA – da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte – PBH – começou no início de 1998, sob a orientação do mestrando da UFMG, Leonardo Inácio de Oliveira, a cadastrar todos os postos de combustíveis através do formulário apresentado no Quadro 9.8, que se acha por nós modificado com a inclusão dos itens 2 e 7.

Paralelamente, a SMMA começou a exigir estudos ambientais para conceder renovação de alvará de funcionamento para os postos já existentes, apesar de não existir qualquer norma oficial que tornasse obrigatórias tais medidas.

QUADRO 9.8. - FORMULÁRIO DE CARACTERIZAÇÃO PARA ARMAZENAMENTO DE DERIVADOS DE PETRÓLEO
(Segundo modelo da SMMA modificado pelo autor)

1 - Dados Gerais

Bandeira atual: _____
Razão Social: _____ C.N.P.J. : _____
Nome Fantasia: _____
Endereço: _____ Bairro: _____
CEP: _____ Telefone: _____ Fax:: _____ E-mail: _____
Alvará de Localização e Funcionamento nº: _____ Data de expedição: _____
Proprietário: _____ Gerente: _____
Data de início de operação: ___/___/___ Registro DNC nº: _____ Registro ANP nº : _____
Capacidade total instalada (tancagem) – litros: Gasolina: _____ Álcool: _____ Diesel: _____
Número de tanques: _____ Número de bombas: _____

2 - Infra-estrutura Local

Distância até cabos elétricos de alta tensão (m): ☐ > 300 ☐ 50 a 300 ☐ < 50
Distância até o corpo de água superficial mais próximo (m): ☐ > 300 ☐ < 300 (não usado para consumo) ☐ < 300 (usado para consumo)
População em um raio de 3 km: ☐ < 100 ☐ 100 a 1000 ☐ > 1000
Topografia do terreno (raio de 300 m): ☐ plano (decliv. < 5%) ☐ moderado (decliv. de 5 a 50%) ☐ inclinado (decliv. > 50%)

Uso do solo nas adjacências:	0 - 300 m	300 - 1000 m	1000 - 3000 m
Residências:	☐	☐	☐
Comer./Indústrias:	☐	☐	☐

3 - Tanques de Armazenamento Subterrâneo

Tanque	Combustível (G/Dia)	Capacidade (litros)	Ano de Instalação	Material de fabricação (aço/fibra)	Paredes do tanque		Sistema de proteção: 1 – SUMP 2 – Catódica 3 - Cx.concr. 4 – Outras	Sistema de monitoramento: 1 – manual 2 - automático	Tipo de descarga: 1 – normal 2 – selada
					Parede dupla (sim/não)	Revesti-mento (sim/não)			
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									

Sistema de limpeza dos tanques subterrâneos: _____
Periodicidade da limpeza dos tanques: _____ Data da última limpeza: ___/___/___

4 - Bombas e Linhas de Distribuição

Bomba/ Linha	Ano de Instalação		Material da linha 1 – Ferro galvanizado 2 – PAD	SUMP de bomba (sim/não)	Conexões: 1 – rosqueadas 2 – soldadas 3 – fundidas	Freqüência de manutenção	
	Bomba	Linha				Bombas 1 – mensal 2 – semestral 3 – anual 4 – nenhuma	Linha 1 – mensal 2 – semestral 3 – anual 4 – nenhuma
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

5 - Controle dos Tanques

Freqüência de testes de estanqueidade de tanques e linhas:
☐ mensal ☐ semestral ☐ anual ☐ nenhuma Data do último teste: ____/____/____
Método de aferição de volume dos tanques: ☐ manual ☐ automático
Freqüência da aferição: ☐ diária ☐ semanal ☐ mensal ☐ nenhuma
Já foi identificada alguma perda de produto? ☐ sim ☐ não Em caso afirmativo, citar a(s) ocorrências(s): _____
_____
Existe(m) poço(s) de monitoramento subterrâneo? ☐ Sim ☐ Não
Se afirmativo, quantos? _____ A que profundidade(s)? _____
Já foi detectado algum produto nos poços? _____

6 - Serviços Adicionais

Realiza troca de óleo? ☐ Sim ☐ Não
Se afirmativo, tipo de troca: ☐ Sucção ☐ Gravidade Tipo de vala: ☐ Seca ☐ Úmida
Destino do óleo queimado: _____
Destino dos resíduos: Óleos e graxas: _____ Filtros: _____ Embalagens: _____
Há sistema de drenagem no local da troca? ☐ Sim ☐ Não Possui caixa de separação de óleos e graxas? ☐ Sim ☐ Não
Realiza lavagem de carros? ☐ Sim ☐ Não Se afirmativo, qual o tipo de lavagem? ☐ Escovas ☐ Jato d'água
Há proteção lateral do box de lavagem? ☐ Sim ☐ Não E de cobertura? ☐ Sim ☐ Não
Há sistema de drenagem no local da lavagem? ☐ Sim ☐ Não Há canaletas de captação de água? ☐ Sim ☐ Não
Possui caixa separadora de óleos e graxas para o sistema de lavagem? ☐ Sim ☐ Não

7 - Características Hidrogeológicas e Captação da Água Subterrânea

Condutividade Hidráulica do solo (cm/s): ☐ < 10^{-6} ☐ 10^{-4} a 10^{-6} ☐ > 10^{-4}
Corrosividade do solo: ☐ Fracamente ácido (pH > 6,5) ☐ Moderad. ácido (pH = 5,5 a 6,5) ☐ Fortemente ácido (pH < 5,5)
Profundidade do nível d'água subterrânea (m): ☐ > 15 ☐ 5 a 15 ☐ < 5
Distância até o poço mais próximo (m): ☐ > 500 ☐ 300 a 500 ☐ < 300
Tipo de poço existente: ☐ Tubular ☐ Artesiano surgente ☐ Artesiano não surgente ☐ Amazonas (grande diâmetro)
Número de poços: _____ Profundidade média dos poços: _____ Diâmetro dos poços: _____
Utilização do(s) poço(s): ☐ Consumo humano ☐ Lavagem de veículos ☐ Outros Consumo diário (m^3): _____
Vazão média (litros/hora): _____ Regime de operação (horas/dia): _____
Que tipo de análise da água já foi executado? ☐ Físico-química ☐ Bacteriológica ☐ BTEX ☐ PAH ☐ Nenhuma
Caso já tenha realizado qualquer tipo de análise, anexar os resultados ao presente.

8 - Histórico do Posto

Já foi detectada a ocorrência de vazamentos subterrâneos? ☐ Sim ☐ Não
Em caso afirmativo, citar a data, o combustível e o volume estimado: _____
_____
Como foi detectado o vazamento? _____
Já houve derramamento de combustível na superfície do solo? _____
Em caso afirmativo, qual o combustível? _____ Qual a providência tomada? _____
_____
Citar outras ocorrências (rompimento de linha, afundamento do pavimento, reclamações de vizinhos etc):
_____
_____
Citar modificações feitas no posto (troca de tanques, de linhas, de bombas etc)
_____
_____
Já houve troca de bandeira? Quando?
_____

9 - Fonte de Informações

Informante: _____ Cargo: _____ Pesquisador: _____

Somente em 26.09.2000 o Conselho Municipal de Meio Ambiente – COMAM – incluiu os empreendimentos revendedores de combustíveis veiculares na relação de empreendimentos de impacto, normalizando, através da Deliberação Normativa nº 32/00, procedimentos para os licenciamentos ambientais preventivo e corretivo.

A deliberação, que se encontra na íntegra no Anexo 5.1, instituiu as Licenças de Instalação e de Operação para os novos postos de combustíveis e a Licença Corretiva para os postos em funcionamento, através da investigação ambiental a ser realizada em dois níveis: preliminar e detalhado.

O nível detalhado inclui uma análise de risco e somente é realizado quando os estudos preliminares indicam a possibilidade de contaminação, seja na zona vadosa ou na zona saturada.

9.2.6. Situação atual da contaminação das águas subterrâneas por combustíveis veiculares em Belo Horizonte

9.2.6.1. Pesquisa Realizada

A pesquisa sobre contaminação por combustíveis das águas subterrâneas no município de Belo Horizonte iniciou-se pelo cadastramento dos postos existentes. Esse trabalho partiu de um cadastro levantado por Leonardo (Oliveira, 1999), que chegou a 310 postos através do cruzamento de listas obtidas na Agência Nacional do Petróleo – ANP, no extinto Departamento Nacional de Combustíveis – DNC, e na PRODABEL.

Na atual pesquisa esse número passou para 444 em função de levantamentos de campo e acompanhamento de processos junto à SMMA da PBH.

Os formulários distribuídos a partir do início de 1998 pela SMMA para caracterização desses postos nem sempre surtiram o efeito desejado, pois cerca de 35% nunca foi devolvido preenchido.

O maior problema com relação à falta das informações contidas nesse formulário é que a decisão de respondê-lo cabia ao proprietário do posto, o qual, ciente dos problemas advindos das informações prestadas, poderia se omitir quando a situação de seu posto induzisse a qualquer risco de contaminação.

Resultou que, em todos os casos não respondidos, o posto tinha mais de 10 anos de funcionamento e em 78% dos casos essa idade era superior a 20 anos.

O acompanhamento dos processos existentes na SMMA, conseguido após longas démarches para vencer a resistência burocrática, além de contribuir com o aumento do cadastro desses postos, possibilitou um bom conhecimento das condições em que é atualmente exercida a fiscalização desses postos nessa cidade, o que ensejou a visualização de deficiências, tanto por parte das empresas consultoras que realizavam as investigações ambientais, como por parte da fiscalização, conforme será adiante discutido.

Paralelamente a esse acompanhamento, foi realizada uma campanha de coleta de amostras para análises de BTEX nos postos que praticavam a captação da água subterrânea para seu próprio uso (geralmente para a lavagem de veículos).

Para tal fim, foram confrontados os quadros do Anexo 2.1, correspondentes ao Cadastro de Poços Tubulares de Belo Horizonte com os quadros do Anexo 4.1. – Postos combustíveis de Belo Horizonte – quando se observou que 23 postos possuíam captação de água subterrânea.

Foi então encetada uma campanha de amostragem da água desses poços para análise de BTEX, embora já se antevisse o resultado negativo de tal pesquisa, pois dificilmente o poço possui filtro em seu revestimento nas proximidades do nível freático, que possa captar o combustível da fase líquida livre desenvolvida no topo do aqüífero pelo efeito do bombeamento, como esquematizado na figura 7.3.

Foram assim coletadas 24 amostras bombeadas em poço, sendo 19 em postos de combustíveis e 5 em empresas de transporte (ônibus), já que 4 proprietários de postos não permitiram a realização dessa coleta d'água (postos nº 118, 161, 200 e 230). A foto 9.1 mostra a coleta em um desses postos (Posto Legal), onde se observa a coleta para BTEX nos frascos dentro do isopor, complementada pela coleta para análises físico-químicas (4 recipientes de plástico), além da medição do NE e da condutividade elétrica *in situ*.

Foi ainda coletada uma amostra com caçamba em uma cisterna (poço amazonas) existente no Posto Anchieta – nº 206A – (foto 9.2) a fim de comparar o resultado das análises procedidas nas amostras coletadas no topo do aqüífero e através do bombeamento realizado a 3 m de profundidade nesse aqüífero.

Os resultados serão discutidos no próximo item.

FOTO 9.1 - Coleta de amostra em um poço instalado em um posto de combustível, mostrando os recipientes para análises físico-químicas e de BTEX. Também é visto um medidor de nível além de um medidor portátil de condutividade e pH.

FOTO 9.2 - Poço Amazonas (cisterna) existente no Posto Anchieta, onde foi constatada contaminação no topo do freático por benzeno.

9.2.6.2. Contaminação Detectada

Serão discutidos separadamente os resultados da pesquisa realizada através das análises de BTEX e os resultados obtidos na análise dos processos existentes no órgão ambiental da prefeitura local (SMMA/PBH).

I) Pesquisa com análises das águas coletadas.

No Anexo 4.2, acham-se relacionados os resultados obtidos nas 25 análises de BTEX referentes às amostras de água coletadas no período julho-setembro/99 nos poços acima mencionados.

Constata-se nesses resultados que apenas uma amostra (poço 206-A) apresentou evidências de contaminação da água subterrânea, com 11,0 μg/L de benzeno, embora os demais hidrocarbonetos tenham acusado valores abaixo do limite de detecção da análise (10 μg/L).

A amostra que revelou contaminação – nº 21 – corresponde à coleta efetuada com caçamba em uma cisterna (poço 206-A) do posto Anchieta. Essa cisterna, vista na foto 30, tem 8 m de profundidade e o NE se encontrava a 4,62 m na época da coleta.

O crivo da bomba encontra-se a 7,5 m de profundidade e a água bombeada corresponde à amostra nº 05 (poço 206), que não acusou qualquer contaminação.

Esses resultados mostram que a pluma da fase dissolvida (baixos valores de hidrocarbonetos) tem uma espessura inferior a 3 m e que a reduzida taxa de bombeamento não foi suficiente para induzir um fluxo que carreasse os hidrocarbonetos dissolvidos até o crivo da bomba, no que foi ajudado pelo reduzido tempo de bombeamento (a bomba foi ligada apenas para coletar a amostra d'água).

Assim, pode-se concluir que os resultados negativos das demais análises efetuadas (24) não significam, em absoluto, ausência de contaminação nos postos em que foram realizadas tais coletas, mas apenas que a água bombeada para coleta não sofreu qualquer influência da eventual contaminação, como efetivamente ocorreu no aqüífero no entorno do posto Anchieta.

É provável, pois, que esse posto já esteja provocando contaminação no aqüífero local, sendo extremamente necessária uma pesquisa, já em nível detalhado, da real situação existente nesse local.

II) Pesquisa com análise de processos no órgão ambiental

No quadro do Anexo 4.1. os postos que apresentam algum dado nas colunas "datas pos-tan" ou "investigação ambiental" correspondem àqueles que possuem processo na SMMA visando obter licença ambiental ou renovar o alvará de funcionamento.

Observa-se que, de 444 postos cadastrados, apenas 96 (21,3%) procuraram legalizar sua situação nos últimos 4 anos. Desses, 21 fizeram testes de estanqueidade e investigações ambientais; 34 fizeram apenas testes de estanqueidade; e 41 não tomaram qualquer providência com relação às exigências feitas pela SMMA para legalizar sua situação nesse órgão ambiental.

Considerando que apenas um dos 55 testes de estanqueidade acusou perdas no sistema de armazenamento e distribuição dos postos pesquisados, resume-se aos 21 postos investigados ambientalmente a análise das possíveis contaminações causadas pelos postos dessa cidade.

Nesses postos foram realizados dois níveis de investigação: preliminar e detalhada, sendo esta realizada em função dos resultados obtidos na primeira etapa, ou quando já havia alguma evidência de contaminação que indicasse a sua necessidade.

a) Investigação Preliminar

Dos 21 postos acima referidos, 18 realizaram o estudo de investigação preliminar preconizado na Deliberação Normativa 32/00 do COMAM (Anexo 5.2).

A pesquisa foi realizada através de sondagens rasas (1m a 2 m) visando detectar a variação da concentração de voláteis na zona vadosa, sendo tais voláteis determinados pela concentração de VOC (compostos orgânicos voláteis) em ppm. Algumas empresas consultoras utilizaram um ionizador de chama (FID – Flame Ionizing Detector) combinado com um ionizador de luz (PID – Photo Ionizing Detector) com leitura simultânea, dando também os resultados em ppm referentes à presença de vapores orgânicos totais (TOV – Total Organic Volatiles).

Para o primeiro método, o valor de VOC superior a 1.000 ppm já pode significar a presença de fase líquida livre de hidrocarbonetos, seja na zona vadosa ou na zona saturada.

Pelo segundo método, um PID superior a 1.000 ppm é também um forte indício da presença da fase líquida livre, provavelmente relacionada com a presença de diesel, já que o ionizador de luz registra com maior acuidade a faixa de hidrocarbonetos compostos por cadeias mais pesadas. Já o FID detecta com maior acuidade os hidrocarbonetos compostos por cadeias mais leves, como a

gasolina e valores superiores a 5.000 ppm já sinalizam para a eventual presença de fase líquida livre desse combustível.

Os resultados das investigações realizadas nessa primeira etapa nos 18 postos supra referidos acham-se relacionados no Quadro 9.9.

QUADRO 9.9 - DETERMINAÇÃO DE VOLÁTEIS DE HIDROCARBONETOS DE PETRÓLEO NA ZONA NÃO SATURADA

POSTO	Nº DE SOND.	VOC - ppm		PID - ppm		FID - ppm		CÓ-DIGO
		MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	
A.C.Com.de Comb.	6	-	-	219	28.000	11	41.000	1
A.Posto Inhumas	13	-	-	4,23	134	0,57	495	2
A.P.Santa Amélia	7	-	-	38	79	0,20	1,60	2
Coderp-C.D.de Pet.	16	-	-	43	3.100	1,00	5.700	1
Com.de Comb.Alex	9	25	4.400	-	-	-	-	1
Elisa P.A.– P.Pedrosa	8	-	-	4,3	1.077	4,0	39.533	1
NORCOL–P.D. Rey	23	0	1.120	-	-	-	-	3
Posto Brasinha	?	0	250	-	-	-	-	2
Posto Floramar	8	-	-	42	3.200	0,9	134	1
Posto Maria Amélia	5	-	-	8.000	10.000	1,0	9,0	1
P.Marques Miranda	34	0	14.000	-	-	-	-	3
Reis Pneus-P.Niquelina	5	0	> 10.000	-	-	-	-	3
Posto Pedro II	29	0	5.000	-	-	-	-	4
Posto Pitangui	16	0	9.500	-	-	-	-	1
Posto Rem	13	0	240	-	-	-	-	2
Posto Tatiana	19	20	> 10.000	-	-	-	-	3
Posto Urbano Ferraz	18	20	1.200	-	-	-	-	1
Posto Venda Nova	8	-	-	26	1.750	1,0	15	1

CÓDIGOS:
1 – Necessário proceder a investigação ambiental detalhada, mas não foi realizada
2 – Não se faz necessário proceder a investigação ambiental detalhada
3 – Necessário proceder a investigação ambiental detalhada, que foi bem realizada
4 – Necessário proceder a investigação ambiental detalhada, que foi mal efetuada

VOC - Compostos Orgânicos Voláteis
PID - Photo Ionizing Detector – Ionizador de Luz
FID - Flame Ionizing Detector – Ionizador de Chama

Analisando esses resultados, observa-se que 9 desses postos (50%) apresentaram evidências da presença da fase líquida livre de hidrocarbonetos derivados de petróleo, exigindo a realização da etapa de investigação ambiental detalhada, o que não foi feito até o final de 2001.

Em um outro posto que acusou a necessidade de investigação ambiental detalhada, essa pesquisa foi realizada, porém conduzida de forma inadequada, impossibilitando tirar qualquer conclusão sobre a contaminação do aqüífero.

Quatro postos que exigiam a realização da segunda etapa de investigação tiveram essa pesquisa concretizada a contento, revelando uma efetiva contaminação do aqüífero, conforme será discutido a seguir.

Finalmente, apenas 4 postos (22,2%) revelaram não ser necessário detalhar as investigações ambientais, o que mostra uma perspectiva muito sombria para o problema da contaminação das águas subterrâneas a partir de combustíveis veiculares nessa cidade.

Assim é que, guardadas as mesmas proporções da amostragem realizada, poderíamos ter cerca de 350 postos de combustíveis provocando contaminação das águas subterrâneas no município de Belo Horizonte.

b) Investigação Ambiental Detalhada

A investigação ambiental detalhada foi realizada nos quatro postos com índice 3 no Quadro 9.9 e mais três postos em que haviam indícios de vazamentos, que foram: Posto Bias Fortes, Posto Romanali e Empreendimentos Laguna ltda.

Os resultados da investigação ambiental detalhada serão discutidos para cada posto investigado.

POSTO DEL REY – NORCOL – Nº 123

Nesse posto foi realizada uma Investigação Ambiental detalhada, porém esse estudo apresentou inúmeras deficiências, não apenas em sua execução, mas também em seu relatório conclusivo. Na execução o maior erro foi a locação das sondagens que apresentou dois grandes problemas: primeiro, foram locadas 3 sondagens em linha reta, o que impossibilita definir o sentido do fluxo das águas subterrâneas, porém o mais grave foi a locação dessas sondagens ao longo da maior concentração da pluma de voláteis no solo, previamente determinada, pois a própria sondagem

poderá levar tal contaminação até a água subterrânea. Durante a execução das sondagens, apenas uma foi levada até a água subterrânea, faltando apenas 2 m em cada uma das outras para atingir também a água subterrânea. Essa deficiência assumiu maior importância em função da elevada concentração de BTEX (4.060 µg/L) e TPH (1.600 µg/L) na água, na única sondagem que atingiu o freático. No relatório, o primeiro erro está na classificação do posto, que deve ser classe 2 e não 1, pois existe nas proximidades uma grande garagem subterrânea para estacionamento de veículos do Shopping Del Rey. Nas conclusões, o estudo apenas caracteriza o risco de contaminação dos que trabalham nesse posto, ignorando totalmente o fato de que o aqüífero já está **contaminado**. Tal fato torna-se estarrecedor se considerarmos que a 300 m desse posto existe uma fábrica de refrigerantes que utiliza água subterrânea captada por 3 poços tubulares para essa industrialização. A existência dessa fábrica já deveria ser suficiente para ter sido exigida uma pesquisa muito mais conclusiva para a contaminação da água subterrânea nesse posto, inclusive com a delimitação da pluma de contaminação e velocidade de sua propagação.

POSTO MARQUES DE MIRANDA

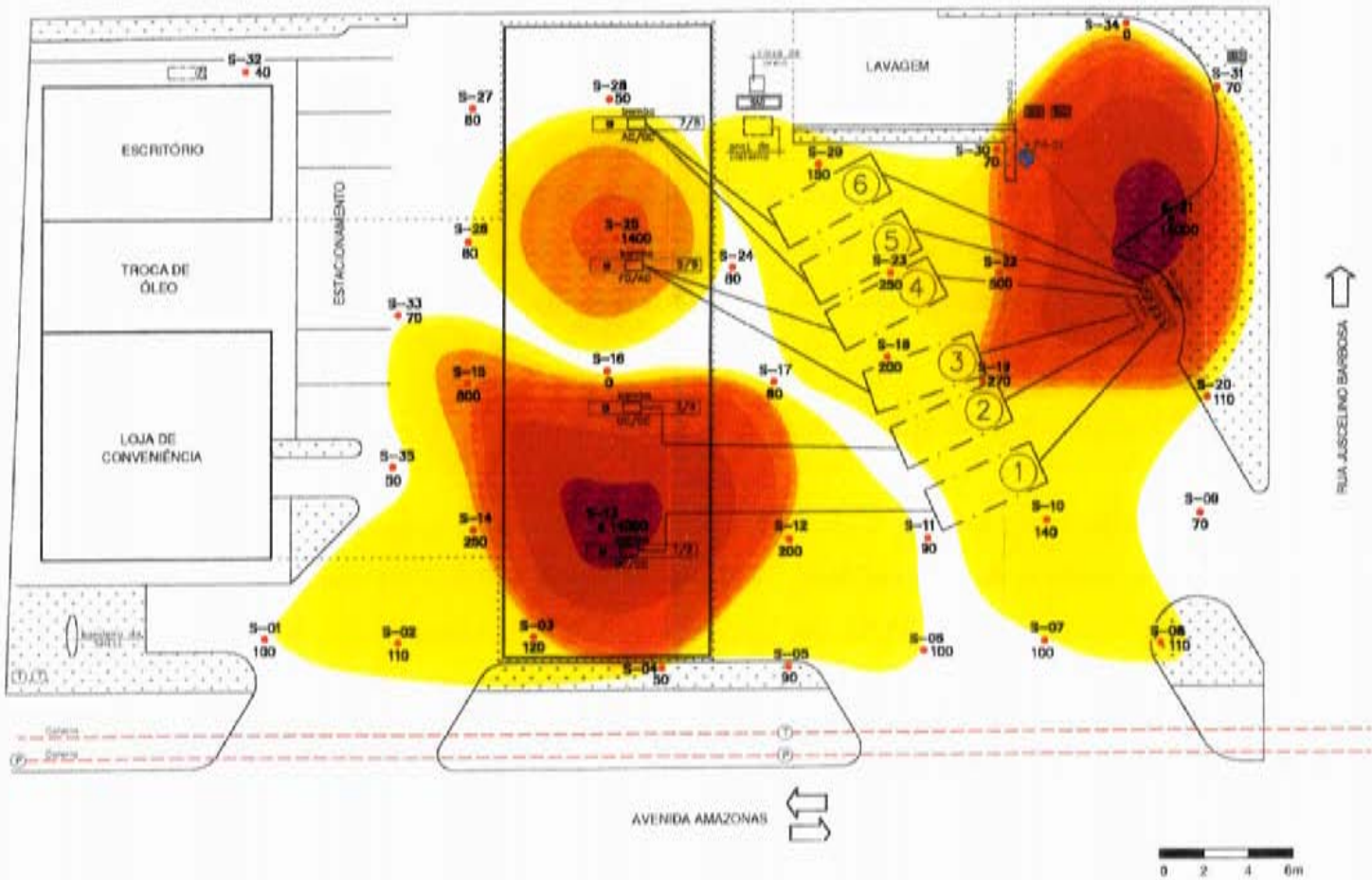
Foram realizadas 9 sondagens profundas, entre 10 e 16 m, que atingiram o nível freático entre 9,95 m e 14,78 m de profundidade. A determinação de voláteis revelou a existência de dois pólos de concentração de VOC, que chegou a 14.000 ppm (figura 9.2). A análise de BTEX revelou contaminação em todos os poços de monitoramento (sondagens profundas), com o Benzeno variando desde 79 µg/L até 6.600 µg/L e TPH chegando a 130 mg/L (figura 9.3). O mais grave problema nessa investigação é que algumas sondagens profundas foram locadas no pico da pluma de VOC (figura 9.4), o que poderá ter sido a causa da contaminação da água subterrânea nesse posto, criando fase livre no topo do aqüífero que atingiu em um dos poços a espessura de 28,5 cm de diesel na profundidade de 13,34 m. A análise de TPH revelou que grande parte da contaminação nesse posto foi conseqüente do vazamento de diesel, enquanto em outras partes a contaminação foi proveniente de vazamento de gasolina. Com base nesses resultados foi iniciado um processo de remediação em agosto/00 e até o mês de maio do corrente ano havia eliminado a fase livre, embora continuasse elevada a concentração de BTEX, pelo que foi programado um acréscimo nesse tratamento.

TABELAS DE TANQUES		
TANQUE	TANCAGEM	PRODUTO
01	15.000 l	Gasolina Comum
02	15.000 l	Gasolina Comum
03	15.000 l	Fórmula Gasolina
04	15.000 l	Álcool Comum
05	15.000 l	Álcool Comum
06	15.000 l	Gasolina Comum
07	1.000 l	Óleo Usado

PLANTA DE SITUAÇÃO
SEM ESCALA

N

Direção do Fluxo de Água Subterrânea
Na área abaixo



LEGENDA

- Tanques e nº de ordem do posto
- FG/GC — Fórmula Gasolina / Gasolina Comum
- AC — Álcool Comum
- Poço Artesiano
- Caixa Separadora de Água e Óleo
- S-1 S-1 — Ponto de "Soil Gas Survey" / VOC em ppm
- (P) Águas Pluviais
- (T) Telefone
- Canteiros
- Representação das Linhas dos Tanques
- Projeção da Cobertura de Bombas

Legenda de Isoconcentrações

- < 100 ppm
- 100 a 250 ppm
- 251 a 500 ppm
- 501 a 1.000 ppm
- 1.001 a 2.000 ppm
- 2.001 a 5.000 ppm
- 5.0001 a 10.000 ppm
- > 10.000 ppm

NOTA:
- Todas as dimensões são aproximadas.
- As ligações subterrâneas são inferidas.

FIGURA 9.2
ISOCONCENTRAÇÕES DE VOC

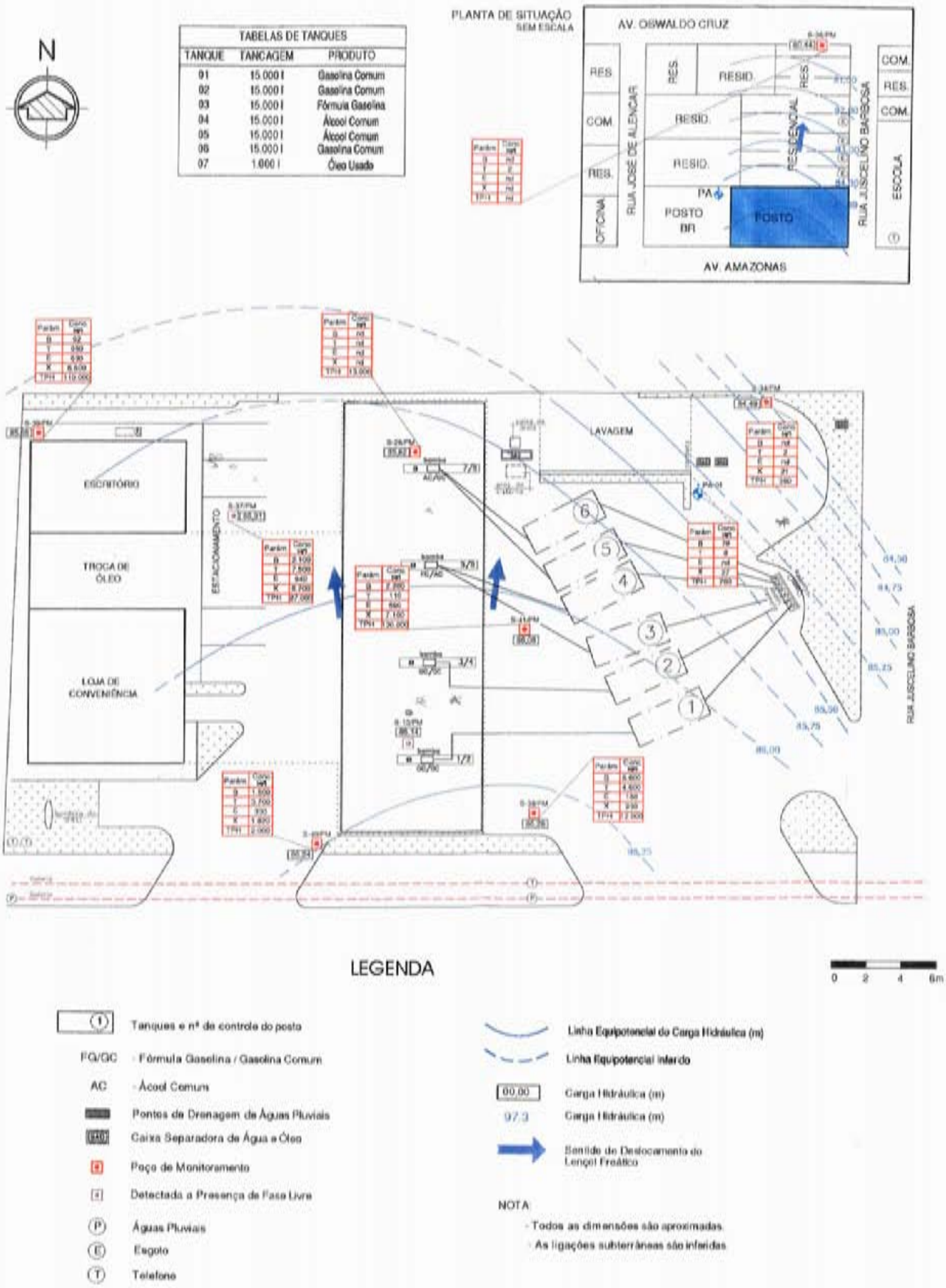
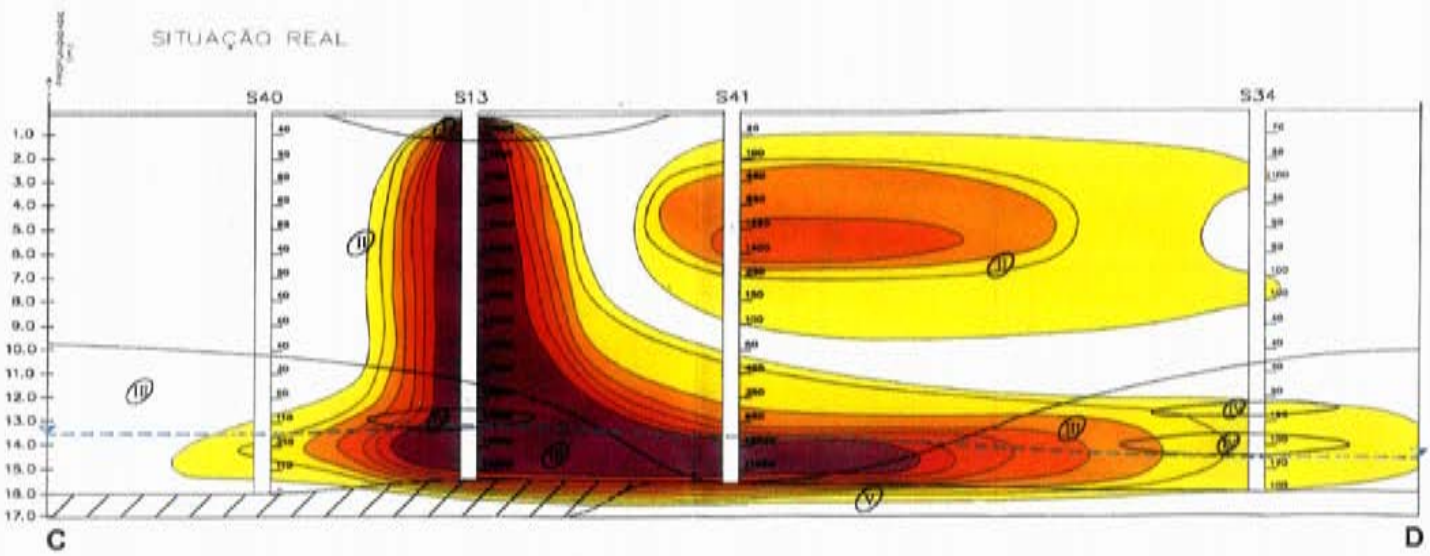


FIGURA 9.3
RESULTADOS ANALÍTICOS E MAPA POTENCIOMÉTRICO

REPRESENTAÇÃO DOS CORTES VERTICAIS
S/ ESCALA



LEGENDA

- Indicação do Nível das Águas Subterrâneas.
- Representação do Lençol Freático.
- Divisão Inferida dos Tipos de Solo
- 10 Valor de VOC (ppm)

TIPOS DE SOLO

- (I) Areia argilosa, localmente argilo arenoso, com fragmentos de rocha
- (II) Argila plástica, com porções pouco arenosas e siltosas
- (III) Silte localmente pouco arenoso
- (IV) Areia fina siltosa, com fragmentos de quartzo e rocha
- (V) Rocha

Legenda de Isoconcentrações

- < 100 ppm
- 100 a 250 ppm
- 251 a 500 ppm
- 501 a 1.000 ppm
- 1.001 a 2.000 ppm
- 2.001 a 5.000 ppm
- 5.0001 a 10.000 ppm
- > 10.000 ppm

NOTA:
- Todas as dimensões são aproximadas

FIGURA 9.4

DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO

POSTO NIQUELINA

Nesse posto foi realizada uma Investigação Ambiental detalhada através de 5 sondagens com profundidades variando entre 8,0 m e 10,0 m, localizadas 4 no entorno da área ocupada pelo posto e uma localizada entre as bombas de abastecimento de combustíveis. Segundo descrito no relatório dessa empresa, a localização dessas sondagens levou em consideração a determinação de um epicentro de VOC em um estudo preliminar, porém não foi apresentada nesse relatório a localização da pluma de VOC acima referida. Nas 5 sondagens retro mencionadas foi executada a determinação de VOC a cada metro perfurado e a coleta de uma amostra de solo e uma amostra de água para análises de BTEX e TPH. A sondagem S06, localizada a montante das bombas em relação ao fluxo das águas subterrâneas, não apresentou qualquer indício de contaminação no solo ou na água, seja através do VOC ou do BTEX e TPH. A sondagem S03, em uma das extremidades do posto, revelou uma contaminação muito baixa através de ambos os métodos de prospecção. As 3 outras sondagens revelaram VOC que chegou a ultrapassar 10.000 ppm no solo, e na água o BTEX variou entre 1.170 µg/L e 1.640 µg/L e o TPH entre 1.400 µg/L e 4.700 µg/L. Apesar de serem muito altos esses valores, indicando uma efetiva **contaminação** da água subterrânea, conforme mostrado em uma das figuras desse relatório em que configura uma pluma de BTEX na água subterrânea, a empresa conclui que o BTEX está presente em "tênues concentrações no solo e na água subterrânea" não sendo necessário implementar "medidas remediativas no sentido de proteger os trabalhadores comerciais e os trabalhadores de obras das concentrações de compostos contaminantes presentes no ar externo e no solo". A contaminação da água subterrânea ficou assim totalmente desconsiderada no presente estudo.

POSTO TATIANA

Os resultados da etapa preliminar de investigações ambientais (VOC > 10.000 ppm), evidenciando uma contaminação subterrânea por derivados de petróleo, já era esperado, pois há 6 anos os testes de estanqueidade detectaram vazamentos de combustíveis nesse posto sem que fosse avaliada a extensão desse problema. Na investigação detalhada foram constatados elevados teores de BTEX na água subterrânea em dois poços situados a jusante desse posto (PM-3 e PM-4), embora o NE estivesse entre 15 e 16 m de profundidade. Os valores máximos nesses dois pontos foram: B = 310 µg/L; T = 1.300 µg/L; E = 290 µg/L; X = 1.480 µg/L. Nesse estudo, a empresa concluiu que o risco de afetar os trabalhadores do posto ou seus usuários era

nulo e, por conseguinte, não recomendou qualquer remediação, apesar de estar o aqüífero local efetivamente ***contaminado.***

POSTO BIAS FORTES

Nesse posto foi realizada uma Investigação Ambiental detalhada, porém o relatório não foi localizado na SMMA. Segundo consta do relatório de programação para remediação, foi constatada a presença de fase livre na água subterrânea e em função disso foi iniciado em agosto de 2000, um processo de tratamento pelo método de "pump test", com bombeamento de 2 poços abertos e tratamento com separação dos hidrocarbonetos. Os poços de monitoramento PM-2 e PM-5 acusaram o fim da fase livre em 6.11.00, porém em 17.01.01 o PM-2 voltou a apresentar fase livre que se mantém até hoje, variando entre 5 e 10 cm, o que revela que não foi debelada a fonte de contaminação nesse posto. Não há qualquer análise sobre o teor de BTEX em nenhum dos poços de monitoramento durante toda a fase de remediação.

POSTO ROMANALI

A Investigação Ambiental detalhada nesse posto mostrou estar a água subterrânea já contaminada em função de vazamentos locais, além de se encontrar o NE em profundidade muito reduzida (entre 1 e 2 m). Esse estudo revelou a existência de fase livre de combustível com espessura variando entre 7 cm e 70 cm ao longo de todo o posto. Foi implantado um sistema de remediação através da empresa BFU, pelo método "pump & test", bombeando 2 poços. A operação desse sistema foi iniciada em julho/00 e concluída em maio/01, quando foi considerada eliminada toda a fase livre do combustível infiltrado. A partir desse mês foi procedido um monitoramento para aferir a extinção da fase livre, que perdurou até o mês de novembro. Constatada a inexistência da fase livre foram executadas análises de BTEX e PAH, sendo concluído que o processo de remediação nesse posto alcançou as metas previstas, segundo relatório emitido pela empresa nesse mês.

EMPREENDIMENTOS LAGUNA LTDA.

O relatório da fase de investigação detalhada mostrou estar o aqüífero **contaminado** ao longo de toda a extensão do posto, acusando nas 5 sondagens realizadas os seguintes valores: BTEX entre 1.210 μg/L e 16.700 μg/L; TPH entre 1.520 e 205.000 μg/L. O NE varia entre 2,85 m e 3,12 m

de profundidade. O relatório conclui indicando a presença de gasolina nas fases líquida livre, dissolvida e adsorvida (residual), recomendando a instalação de um sistema de recuperação desse contaminante em conjunto com o SVE (System Vapour Extraction).

A avaliação dos processos de investigação e remediação executada no item anterior revela uma situação preocupante: em 50% dos casos analisados ocorre erro ou deficiência, quer na execução das investigações, quer na análise conclusiva dos relatórios desses estudos.

Dois pontos básicos influem decisivamente na manutenção da situação acima caracterizada.

O primeiro é a filosofia que parece imperar nessas investigações, que apenas vê como necessário caracterizar o risco de contaminação dos trabalhadores e usuários do posto, ficando relegada a segundo plano a contaminação da água subterrânea, que nos parece constituir o principal motivo de uma investigação que visa detectar eventuais impactos ambientais. Resulta assim, que postos como o Niquelina e o Tatiana não tenham tido qualquer recomendação para remediação dos aqüíferos, quando as investigações comprovaram estarem os mesmos efetivamente contaminados.

O segundo ponto diz respeito à participação pouco eficaz da equipe técnica da SMMA durante a fase de investigação, quando poderia ser evitada a execução de programações ineficientes, com a locação de sondagens totalmente desaconselhável e muitas vezes encerradas a pequena profundidade, deixando de atingir os objetivos de uma efetiva programação de investigação detalhada.

Também na fase de análise dos relatórios o acompanhamento da fiscalização deixa muito a desejar, aceitando conclusões incoerentes e baseadas em dados inconsistentes, muitas vezes desaconselhando a continuidade dos estudos, como nos postos Urbano Ferraz, Venda Nova, Elisa Pedrosa, Pitangui e Pedro II, quando os resultados obtidos na etapa preliminar não deixam dúvidas quanto à necessidade de detalhar as investigações preliminares.

Finalmente, falta à fiscalização maior flexibilidade quanto à observação do limite de 100 m para analisar a influência de uma eventual contaminação do aqüífero, pois no caso do posto NORCOL, há uma fábrica de refrigerantes a 300 m que utiliza a água subterrânea para essa indústria e tal fato exigiria uma detalhada delimitação da pluma de contaminação constatada apenas em uma sondagem realizada nesse posto, o que não ocorreu.

9.2.6.3. Classificação da potencialidade de contaminação dos postos de combustíveis de Belo Horizonte

Com os dados a obter no formulário de caracterização do Quadro 9.8, esperávamos poder classificar os postos de distribuição de combustíveis na área pesquisada de acordo com o critério de riscos proposto por Guiger (1996).

A ausência de dados relacionados com os postos que poderiam oferecer maiores problemas, como referido anteriormente, começou a forçar-nos a pensar em um critério classificatório mais adequado à realidade dos fatos.

Por outro lado, a falta de um suporte legal para exigir estudos ambientais retardou muito a SMMA da prefeitura em obter os primeiros resultados práticos do controle ambiental pretendido, chegando a conceder quase uma centena de alvarás provisórios, com validade de um ano, até que a Deliberação Normativa 32/2000, editada em setembro/00, pudesse subsidiar medidas coercitivas aos infratores, impedindo a renovação definitiva dos alvarás.

Assim, restringiu-se a praticamente um ano o período de levantamento dos dados necessários a uma caracterização da atual situação da contaminação por postos de combustíveis, e o número de pesquisas realizadas nesse ínterim ficou muito aquém das expectativas e da necessidade representada por tal caracterização.

Restou-nos, pois, obter um cadastro atualizado dos postos de combustíveis existentes até outubro/01 e uma análise dos dados conseguidos nas poucas pesquisas efetuadas nos postos investigados, conforme já relatado no item anterior.

Face ao exposto, foi adotada para avaliar o risco de contaminação da água subterrânea por combustíveis veiculares em Belo Horizonte a seguinte classificação para essas cargas contaminantes:

Carga contaminante de potencial desconhecido ou insignificante – D - nos seguintes casos:

- postos sem qualquer informação
- postos sem investigação ambiental mas com idade dos tanques inferior a 10 anos

Carga contaminante de potencial reduzido – R - para os seguintes casos:

- postos cuja investigação ambiental preliminar revelou baixa concentração de voláteis;

- postos sem investigação ambiental mas com idade dos tanques entre 10 e 20 anos

Carga contaminante de potencial moderado – M – para os seguintes casos:

- postos cuja investigação ambiental preliminar revelou elevada concentração de voláteis
- postos cuja investigação ambiental detalhada revelou baixa concentração de BTEX na água
- postos sem investigação ambiental mas com idade dos tanques superior a 20 anos

Carga contaminante de potencial elevado – E - para os seguintes casos:

- postos cuja investigação ambiental detalhada revelou elevadas concentrações de BTEX na água;
- postos sem investigação ambiental mas que haja ocorrência comprovada de vazamento de combustível.

Observa-se que foi utilizada para essa classificação a influência de 3 diferentes critérios: idade do posto ou dos tanques, resultados de investigações ambientais e ocorrência de vazamentos.

A idade dos tanques, quando informada nos formulários de caracterização, é mais importante que a idade do posto pelos seguintes motivos:

- o vazamento do combustível se processa comprovadamente, na maior parte dos casos, através do tanque de armazenamento subterrâneo (TAS);
- muitos postos antigos já substituíram os seus tanques, passando a predominar, nesse caso, a idade de instalação do tanque que substituiu o existente sobre a idade do posto;
- os tanques de aço com paredes duplas, que apresentam maior resistência contra trincamentos somente começaram a ser produzidos no Brasil em 1994;
- o tratamento anti-corrosão que impede a perfuração do tanque pela corrosão de suas paredes somente passou a ser exigido no Brasil a partir da publicação da NBR-13.312 em 1995.

Quando não se possuíam dados sobre a idade dos tanques, foi utilizada a idade do posto como correspondente à dos tanques, o que é válido para postos com menos de 20 anos, pois dificilmente o tanque é trocado antes desse período a não ser quando constatado problema em sua estanqueidade.

Conforme citado anteriormente, a experiência internacional considera como vida útil de um tanque a idade de 20 anos, sendo aumentadas as chances de ocorrer vazamento a partir dos 10 anos de idade.

Considerando que no Brasil as maiores proteções contra tais vazamentos foram implantadas a partir de 1994 (7 anos), justifica-se amplamente os critérios adotados para a classificação da potencialidade de contaminação a partir da idade desses tanques.

Quanto aos resultados da investigação ambiental, trata-se de um critério absoluto e que não deixas dúvidas quanto à real situação de risco para o aqüífero em função do estágio de contaminação constatado nessa investigação.

Finalmente, a ocorrência de vazamentos, desde que comprovadamente conhecida, é também fundamental para caracterizar a elevada situação de risco existente para o aqüífero.

9.2.6.4 Análise dos resultados de classificação

O Quadro do Anexo 4.1 apresenta a classificação dos postos pesquisados no presente trabalho, segundo o critério explicitado no item anterior.

Desse quadro resultam os seguintes números parciais com relação às diferentes potencialidades das cargas contaminantes:

- carga de potencialidade desconhecida: 302
- carga de potencialidade reduzida: 49
- carga de potencialidade moderada: 81
- carga de potencialidade elevada: 12

Considerando-se apenas as situações classificadas como conhecidas, têm-se os seguintes percentuais:

- carga de potencialidade reduzida: 35 %
- carga de potencialidade moderada: 57%
- carga de potencialidade elevada: 8 %

Como na potencialidade moderada já é muito grande o risco de estar o aqüífero contaminado, teríamos 65% de possibilidade de contaminação para os postos cuja situação já é conhecida.

Se extrapolarmos esses dados para todos os postos da cidade, teríamos 288 postos com possibilidade de estarem contaminando as águas subterrâneas do município de Belo Horizonte, número ainda inferior ao constatado no item 9.2.6.2.IIa (350), quando foi extrapolado o percentual de postos que revelaram evidências de contaminação na fase de investigação ambiental preliminar.

Um fato curioso constatado nos casos em que a contaminação foi efetivamente comprovada (12 postos) foi a idade desses postos (nenhum desses postos procedeu a substituição de seus tanques, pelo que a idade do posto é a mesma dos tanques). É que 50% desses postos têm idade inferior a 20 anos e 33% inferior a 10 anos (3 postos com 3 anos e 1 posto com apenas 2 anos).

Se observarmos os 8 postos que acusaram uma grande suspeita de contaminação do aqüífero na análise de voláteis da zona vadosa, mas que não tiveram realizada a investigação ambiental detalhada, constata-se que 55% dos mesmos têm idade inferior a 20 anos, com 30% inferior a 10 anos.

Se considerarmos que entre os postos classificados como desconhecidos, apenas 17,5% possuem menos de 10 anos de operação (3% tiveram os tanques antigos substituídos), pode-se reforçar a viabilidade das extrapolações acima realizadas, e que confere uma situação bastante perigosa para as águas subterrâneas desse município, mormente nas áreas mais vulneráveis dos aqüíferos dessa região.

9.2.6.5. Relação entre a contaminação por combustíveis e a vulnerabilidade dos aqüíferos

A distribuição dos postos de comercialização de combustíveis veiculares no município de Belo Horizonte pode ser visualizada na figura 9.5, onde se acha apresentada a variação da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas desse município.

Em termos puramente de localização, observa-se uma grande concentração desses estabelecimentos na região central do município, com tendência de expansão para a região centro-norte e ligeira difusão na região centro-sul.

Com relação à vulnerabilidade de contaminação das águas subterrâneas, pode ser estabelecida uma relação com os postos cuja potencialidade como carga contaminante pôde ser caracterizada no atual estudo, conforme apresentado no Quadro 9.10.

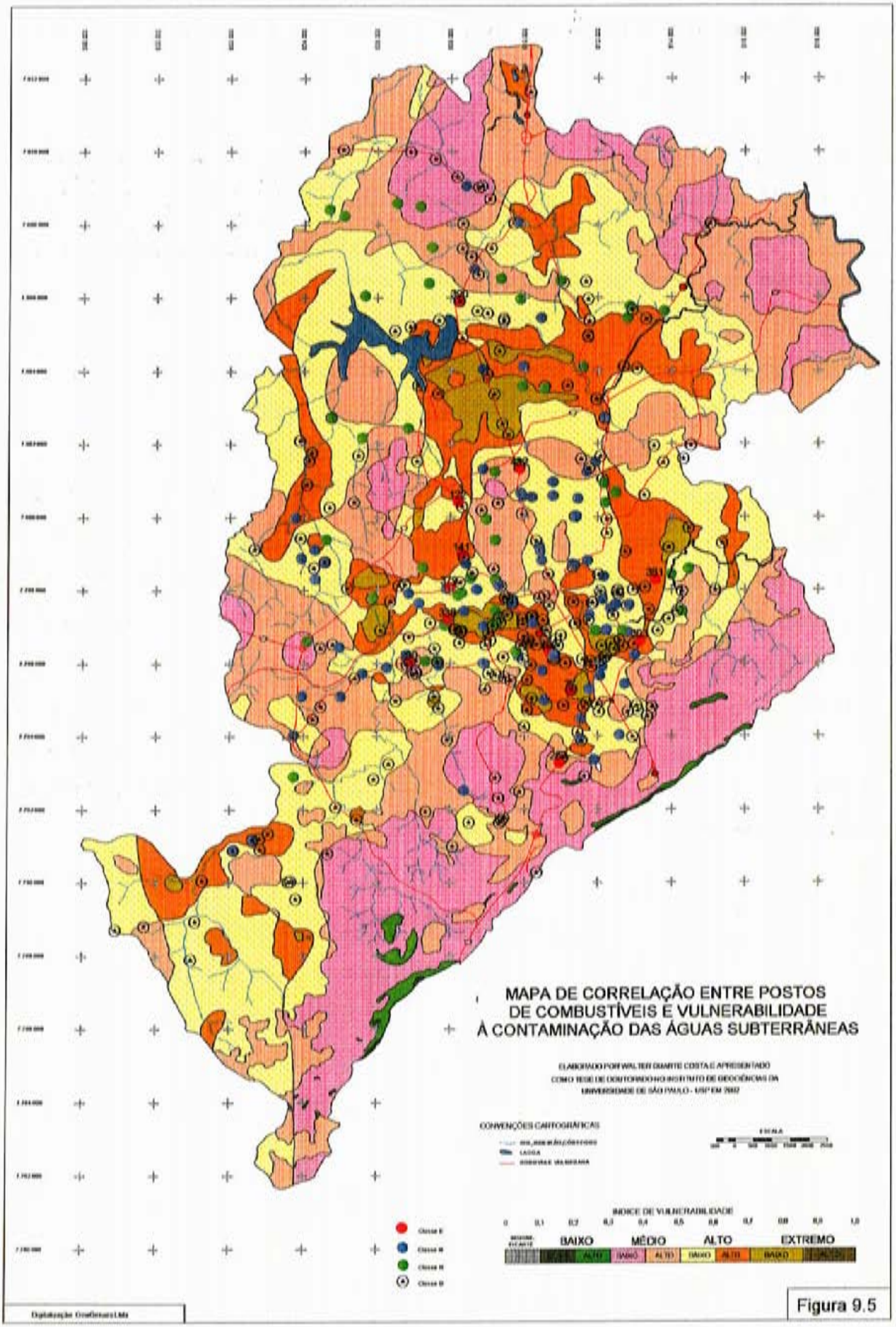

MAPA DE CORRELAÇÃO ENTRE POSTOS
DE COMBUSTÍVEIS E VULNERABILIDADE
À CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS
INDICE DE VULNERABILIDADE
BAIXO
MÉDIO
ALTO
EXTREMO

Figura 9.5

QUADRO 9.10 – RELAÇÃO ENTRE OS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS E VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM BELO HORIZONTE

POTENCIALIDADE POLUIDORA DO POSTO	VULNERABILIDADE										TOTAIS
	MÉDIA				ELEVADA				EXTREMA		
	FRACA		FORTE		FRACA		FORTE		FRACA		
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	
REDUZIDA	2	4	10	20	27	36	7	14	3	6	49
MODERADA	2	2	9	11	51	64	13	16	6	7	81
ELEVADA	0	0	3	25	3	25	5	42	1	8	12

Desse quadro podem ser feitas as seguintes observações: 81,7% de todos os postos de potencial poluidor avaliado localizam-se nas áreas de vulnerabilidade à contaminação elevada a extremamente elevada; os postos classificados como de potencialidade moderada a elevada, que podem representar maior risco para as águas subterrâneas estão localizados em cerca de 85% nas áreas de vulnerabilidade elevada a extremamente elevada.

Esses dados ratificam a preocupação exarada no último parágrafo do item anterior, com relação ao risco que estão correndo os aqüíferos de Belo Horizonte em relação à possibilidade de vazamento de combustíveis através de seus quase 500 postos de distribuição de combustíveis espalhados nesse município.

9.3 INDÚSTRIAS

9.3.1. Problemática da contaminação das águas subterrâneas por atividades industriais

A poluição industrial tem constituído um dos maiores problemas associados ao desenvolvimento de todas as nações do mundo e isso se deve principalmente a dois fatores: a grande diversidade de produtos químicos com elevada concentração de tóxicos que são manuseados nessas indústrias; e a grande quantidade de efluentes gerados, sejam atmosféricos, líquidos ou na forma de resíduos sólidos.

Esses efluentes, geralmente diluídos nas águas pluviais, vão contaminar os corpos d'água superficiais, através do escoamento superficial, bem como os recursos hídricos subterrâneos, através de sua infiltração no subsolo.

Há, contudo, uma extrema dificuldade em estimar a carga poluidora em função das variadas formas com que tais cargas são lançadas aos diferentes corpos hídricos.

Como mostrado na figura 7.3, a poluição industrial inicia-se na atmosfera, podendo gerar chuva ácida que irá escoar na superfície do solo em direção aos rios, lagos e reservatórios ou se infiltrar para atingir os aqüíferos; passa pelos depósitos de matéria prima e de resíduos sólidos armazenados nos pátios das indústrias, que podem ser lixiviados pelas águas superficiais, tomando os mesmos destinos acima referidos para as chuvas ácidas; e, finalmente, terminam nos efluentes líquidos que podem ser lançados em lagoas de decantação, nem sempre bem impermeabilizadas, propiciando sua infiltração no subsolo, ou ainda serem lançados clandestinamente na rede de águas pluviais ou na galeria de esgotos, direcionando a sua infiltração e dificultando sua detectação.

A quantificação dessas variadas formas de contaminação é extremamente difícil, pois envolve a toxidez do produto, a forma de disposição, a segurança no transporte interno e a proteção ambiental adotada pelo empreendimento.

Geralmente estima-se o volume efluente a partir da quantidade de água utilizada no processo industrial, mas é difícil estabelecer dessa quantidade a fração infiltrada no subsolo. Mais difícil ainda é saber a quantidade lixiviada e infiltrada a partir de uma pilha de resíduos sólidos ou depósito de matéria prima.

Por outro lado, a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas a partir da infiltração desses efluentes nem sempre é proporcional ao porte do empreendimento ou ao grau de toxidade do produto manipulado, pois geralmente as maiores empresas utilizam também processos de controle e monitoramento mais eficientes, o mesmo ocorrendo quando é mais perigoso o produto manuseado. Ainda assim, deve-se considerar o perigo de acidentes no armazenamento ou no transporte de substâncias perigosas, por maiores que sejam os cuidados.

Face ao exposto, o correto é considerar o conceito de ***atividade potencialmente poluidora*** não apenas para as denominadas "indústrias sujas", onde o controle ambiental deixa muito a desejar, mas também para aquelas que, apesar de disporem de bons sistemas de tratamento, manuseiam substâncias perigosas.

Finalmente, deve ser considerado como agravante no problema da contaminação industrial aos depósitos hídricos subterrâneos, o despreparo de grande parte dos órgãos ambientais para esse tipo de contaminação, pois a maior experiência sobre contaminação hídrica no Brasil refere-se às diversas possibilidades de poluição aos recursos hídricos superficiais, sendo muito pouco conhecido e controlado quando o problema é relacionado com as águas subterrâneas.

Um exemplo disso é citado pelo Instituto Geológico de São Paulo (Hirata et al, 1997) quando diz que "em geral, os cadastros de indústrias controladas e monitoradas até 1984 no Estado de São Paulo estão organizados com base nos lançamentos nas águas superficiais e na atmosfera, não sendo considerado o risco para as águas subterrâneas".

Outro exemplo refere-se à cidade de Belo Horizonte, que até 1995 não possuía uma única indústria com licença ambiental, iniciando o controle da poluição dessas industrias a partir de 1997, ainda assim, com ênfase para os seus efeitos sobre os recursos hídricos superficiais, não existindo até hoje, nenhum geólogo ou especialista em água subterrânea nos órgãos ambientais que controlam esse tipo de contaminação.

Observa-se assim, que o problema da contaminação das águas subterrâneas a partir da atividade industrial, além de grave é muito difícil de ser avaliado, em parte devido à complexidade do próprio processo, e em parte pelas deficiências dos órgãos públicos responsáveis pelo controle dos efeitos danosos desse tipo de poluição.

9.3.2. Histórico sobre o desenvolvimento industrial em Belo Horizonte

As primeiras indústrias implantadas em Belo Horizonte, no início do século XX, estavam mais próximas da manufatura do que propriamente da indústria e apresentavam as seguintes características: baixo grau de mecanização; utilização de matérias-primas provenientes do setor primário; e produção voltada para o mercado local.

À medida que a cidade se estruturava, o setor industrial foi se desenvolvendo, principalmente baseado no pequeno capital economizado pelos imigrantes, sobretudo italianos, portugueses e espanhóis.

Na década de 10, os reflexos da primeira guerra mundial provocaram uma ruptura no desenvolvimento industrial, em função da forte recessão conseqüente do decréscimo das exportações de café e outros produtos primários.

Na década de 20 a cidade voltou a crescer e o setor industrial atingiu um de seus períodos áureos, principalmente em decorrência da expansão do setor siderúrgico, liderado pela Cia. Belgo-Mineira. O reflexo dessa expansão para a economia da cidade e do Estado contou com a ajuda da construção de estradas de rodagem ligando Belo Horizonte ao Rio de Janeiro e São Paulo.

A década de 30 iniciou-se com a Revolução de 1930, que propiciou a ascensão ao poder de setores da burguesia ligados à industrialização, valorizando esse setor em muitos estados. Criou-se em Minas Gerais a Zona Industrial de Belo Horizonte através da Lei Estadual nº 98.136, localizado no Barro Preto, para onde foram deslocadas inúmeras indústrias do centro da cidade e inauguradas muitas outras, como a Cia. de Cigarros Souza Cruz.

Na década de 40 novamente foi descentralizado o setor industrial com a criação em 1941 da Cidade Industrial localizada no município de Contagem, região metropolitana de Belo Horizonte – RMBH. Nessa década algumas indústrias foram transferidas para outros municípios vizinhos, pertencentes à RMBH, buscando mais espaço para expansão e menor impacto na vida urbana da capital.

A década de 50 constituiu a década de ouro para a industrialização de Minas Gerais e particularmente de Belo Horizonte, graças à conjugação dos fatores energia (criação da CEMIG), transporte, ação política e dinamismo empresarial. Em 1954 foram inauguradas as instalações da Companhia Siderúrgica Manesmann, que até hoje possui o maior parque industrial dessa cidade.

A década de 60 evidenciou mais um período crítico para o setor industrial em função das crises políticas que culminaram com o golpe militar de 1964. Essa década retardou por alguns anos o desenvolvimento industrial de Belo Horizonte. A rígida política monetária anti-inflacionária e a alta de juros provocaram o fechamento de inúmeras pequenas e médias indústrias de bens de consumo, sendo ainda duramente afetada a indústria tradicional (açúcar, laticínios, bebidas e têxtil). Intensificou-se nessa década o movimento de transferência de indústrias da zona urbana para os municípios da Grande BH.

A década de 70 marcou o "milagre econômico brasileiro", quando uma junção de fatores permitiu ao país altas taxas anuais de crescimento econômico, baseado fundamentalmente no capital estrangeiro e no endividamento externo. Minas Gerais e Belo Horizonte beneficiaram-se dessa fase de crescimento, transmitindo-se ao setor industrial, principalmente nos setores metal-mecânico, material elétrico e de transporte, móveis e calçados.

As décadas de 80 e 90 foram marcadas por um longo período de recessão e estagnação econômica. Ampliou-se a participação popular e a discussão sobre o perfil da indústria localizada na área urbana. A população passou a exigir maior qualidade de vida e medidas de proteção ao meio ambiente. Essa tendência veio sinalizar um perfil industrial novo, moderno, baseado nas indústrias não-poluentes e de alta tecnologia.

Foram criados 6 distritos industriais procurando concentrar as indústrias em áreas mais afastadas do centro comercial e residencial. O Quadro 9.11 apresenta as características desses distritos e as fotos 9.3 e 9.4 mostram os distritos de Jatobá e de Olhos d'Água.

QUADRO 9.11 - DISTRITOS INDUSTRIAIS

DISTRITO	ÁREA – m²	N° DE LOTES	ÁREA VERDE
SERRA VERDE (*)	899.134	392	194.009
OLHOS D'ÁGUA (**)	569.917	367	66.289
JATOBÁ (*)	2.754.708	227	544.698
GORDURAS (**)	505.454	73	102.000
PILAR (*)	1.920.890	386	102.000
CAMARGOS (**)	120.082	72	24.536
TOTAIS	**6.770.185**	**1.517**	**1.033.530**

(*) Distrito implantado
(**) Distrito a implantar

Fonte: Relatório Anual da Sec.Mun.Ind.e Com. 1996

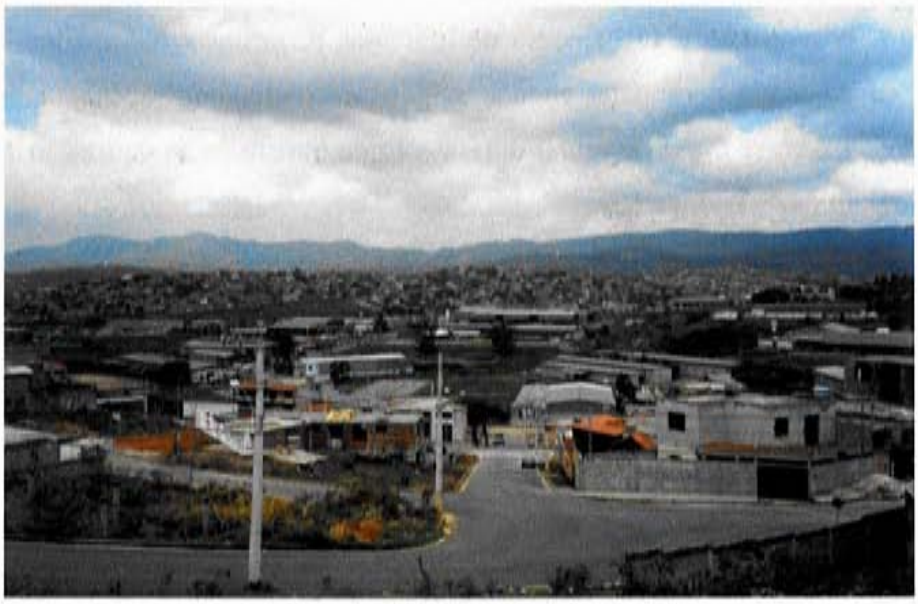


FOTO 9.3 - Distrito Industrial do Jatobá, cercado por bairros residenciais. As indústrias aí instaladas são de pequeno a médio porte

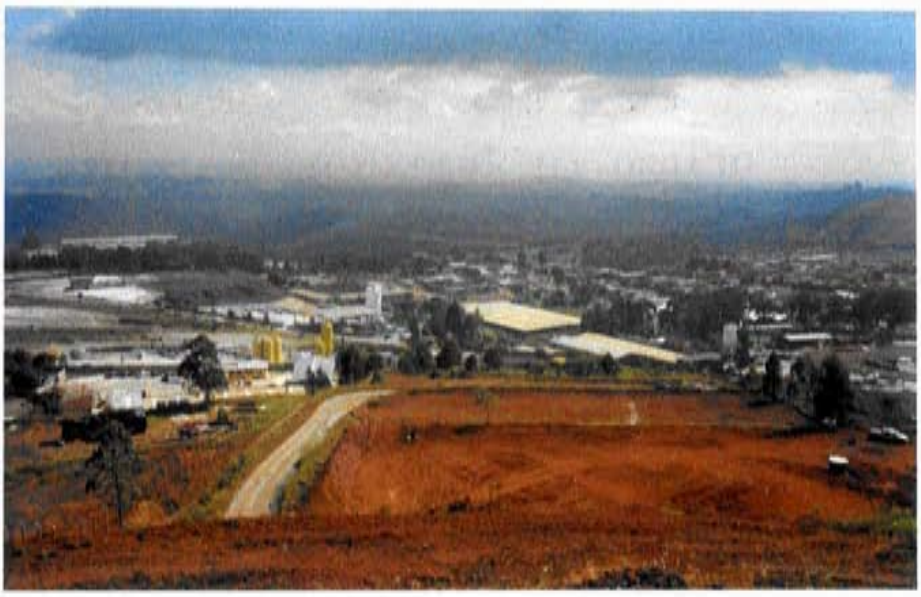


FOTO 9.4 - Distrito Industrial Olhos d'Água, que ainda está sendo implantado, com indústrias surgindo a cada dia, como nos dois lotes vistos em primeiro plano, em fase de implantação.

9.3.3. Controle Ambiental da Contaminação Industrial

A atividade industrial, a exemplo de postos de combustíveis veiculares, é controlada no município de Belo Horizonte pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente – SMMA.

A Lei Municipal nº 7.277 de 17.01.97 instituiu a Licença Ambiental para todos os empreendimentos considerados como de impacto e entre eles estavam incluídos os distritos e zonas industriais (Art. 2º, § 1º, V).

Somente dois anos mais tarde foram discriminadas as atividades industriais passíveis de licenciamento ambiental, através da Deliberação Normativa nº 20/99, de 20.01.99, do Conselho Municipal do Meio Ambiente – COMAM.

Nesse mesmo ano o COMAM regulamentou os procedimentos administrativos referentes à aplicação da Lei 7.277/97 com relação às atividades industriais, através da Deliberação Normativa nº 25/99, de 23.09.99, publicada no Diário Oficial do Município – DOM – em 29.12.99.

Por tal deliberação, as indústrias foram classificadas ambientalmente em função da área utilizada da forma que segue:

Indústria de grande porte: área maior que 6.000 m^2
Indústria de médio porte: área entre 1.200 e 6.000 m^2
Indústria de pequeno porte: área menor que 1.200 m^2

Os licenciamentos e respectivos estudos necessários para cada uma dessas classes industriais foram também definidos nessa deliberação da forma seguinte:

a) **Indústria de grande porte:** O *licenciamento ambiental preventivo* incluirá as seguintes licenças:

Licença Prévia – LP: Estudo de Impacto Ambiental (EIA/RIMA)
Licença de Implantação – LI: Plano de Controle Ambiental – PCA
Licença de Operação ou de Ocupação – LO: Implantação das Medidas Mitigadoras

O *licenciamento ambiental corretivo* incluirá apenas a Licença de Operação e exigirá a execução do Relatório de Controle Ambiental – RCA e do PCA.

b) **Indústria de médio porte:** O *licenciamento ambiental preventivo* incluirá as seguintes licenças com respectivo estudo:

Licença de Instalação – LI: RCA/PCA

Licença de Operação – LO: Implantação das Medidas Mitigadoras

O *licenciamento ambiental corretivo* é idêntico ao exigido para as indústrias de grande porte.

c) **Indústrias de pequeno porte:** O *licenciamento ambiental preventivo* inclui apenas a Licença de Operação – LO, sendo para tal, necessário apenas apresentar o Formulário de Informações Ambientais Básicas, o mesmo acontecendo para o *licenciamento ambiental corretivo.*

Embora estejam normalizados os procedimentos para o licenciamento ambiental da atividade industrial nesse município, não existe qualquer norma para o controle e monitoramento dos impactos decorrentes dessas atividades pelo órgão ambiental da prefeitura municipal – SMMA, sendo o cumprimento das exigências associadas às diferentes licenças a única ferramenta que dispõe esse órgão para exercer o mínimo controle sobre os impactos gerados.

Um fato curioso e inexplicável com relação ao controle ambiental das atividades industriais nesse município é que a indústria responsável pela maior poluição ambiental sob todos os aspectos (maior área, maior número de empregados, maior consumo de água, maior quantidade de efluentes líquidos e sólidos), que é a MANESMAN, é o único empreendimento industrial cuja fiscalização está a cargo da Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM. Segundo a FEAM, o controle dessa indústria é devido ao fato de ser a poluição gerada em nível estadual, pois todos os efluentes são dirigidos à bacia hidrográfica do Rio Arrudas, afluente do Rio das Velhas que drena vários municípios de Minas Gerais. Tal explicação não convence, pois todas as demais indústrias têm seus efluentes direcionados às bacias do Rio Arrudas ou do Ribeirão do Onça, ambos afluentes do Rio das Velhas.

9.3.4. Conhecimento sobre a poluição industrial de Belo Horizonte

9.3.4.1. Metodologia adotada na pesquisa

A intenção inicial para pesquisar a poluição industrial em Belo Horizonte era proceder a uma inspeção *in loco* de todas as indústrias cadastradas, levantando todas as suas características operacionais, incluindo os aspectos direta ou indiretamente relacionados com eventuais impactos ao meio ambiente.

Para isso, seria utilizado um formulário de caracterização semelhante ao adotado pela CETESB de São Paulo (Hirata et al, 1997). Os dados desse formulário, que chegou a ser elaborado conforme modelo apresentado no Quadro 9.12, ensejariam classificar a potencialidade das cargas poluidoras industriais segundo o diagrama de decisão proposto por Hirata & Barton e Bastos et al (in Hirata et al,1997).

A grande quantidade de indústrias existentes nesse município (2422) e a dificuldade encontrada em ter acesso às mesmas, pelos motivos já explicitados no presente trabalho, direcionaram essa metodologia em outro sentido.

Considerando que o governo estadual efetuou no período 1995-1997 um excelente trabalho através de um convênio estado/município, denominado PROSAN, visando caracterizar os diversos tipos de poluição industrial existentes nos municípios de Belo Horizonte e Contagem, resolvemos tomar esse trabalho como base e detalhá-lo nas indústrias reconhecidas nesse trabalho como mais poluidoras.

9.3.4.2. Classificação da poluição industrial

A pesquisa efetuada pelo projeto PROSAM abrangeu os municípios de Belo Horizonte e Contagem porque a principal finalidade dessa pesquisa era avaliar a poluição do Rio Arrudas e do Ribeirão do Onça, por constituírem as maiores fontes de poluição do Rio das Velhas, como pode ser observado na figura 2.5.

Assim, alguns dos dados apresentados referem-se ao conjunto desses dois municípios, embora somente aqueles referentes a Belo Horizonte interessem à atual pesquisa.

No total foram catalogadas 3.125 indústrias, sendo 2.422 em Belo Horizonte e 703 em Contagem. Esse trabalho foi baseado no cadastro existente no CETEC (Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1986), atualizado com dados do Cadastro Industrial da FIEMG (Federação das Indústrias de Minas Gerais), do Instituto de Desenvolvimento Industrial – INDI – e da Companhia de Distritos Industriais de Minas Gerais – CDI.

A primeira classificação visando restringir esses elevados números foi feita com base na potencialidade de poluição em função dos efluentes gerados, sendo então consideradas as seguintes categorias de indústrias:

QUADRO 9.12. - FORMULÁRIO DE CARACTERIZAÇÃO DE INDÚSTRIAS (Adaptado do modelo da CETESB)

1 - Identificação da Indústria

Razão Social: _____ Nome de Fantasia: _____
Alvará de Funcionamento nº _____ Data de expedição: ___/___/___ C.N.P.J.: _____
Atividade principal: _____ Atividade secundária: _____
Endereço: _____ Bairro: _____ CEP: _____
Telefone: _____ Fax: _____ Caixa Postal: _____ E-mail: _____

2 - Características da Indústria

Início das atividades: ___/___/___ Nº de empregados: na administração _____ na produção _____ total _____
Área do terreno (m^2): _____ Área construída (m^2): _____ Consumo mensal de energia elétrica (Kw): _____
Tipo de produção: ☐ Contínua ☐ Intermitente: horas por dia: _____ dias por semana: _____
☐ Sazonal: meses de maior atividade: _____
Jornada de trabalho: ☐ 1 turno ☐ 2 turnos ☐ 3 turnos Nº de empregados por turno: _____

3 - Matérias primas e Produtos Finais

Matérias primas	Quantidades médias mensais	Unidade

Produtos Finais	Quantidades médias mensais	Unidade

4 - Previsões de aumento de produção e diversificação

Existem planos para aumento de produção? ☐ Sim ☐ Não Em caso afirmativo, para o ano: _____
Em que porcentagem se dará esse aumento em relação à produção atual? _____
Existem planos para diversificação industrial? ☐ Sim ☐ Não Em caso afirmativo, para o ano: _____
Tipo de diversificação prevista: _____

5 - Abastecimento atual de água

Rede Pública (nome da entidade fornecedora)	Vazão captada m^3/dia

Mananciais (Rios, ribeirões, córregos e nascentes)	Vazão captada m^3/dia	horas/dia	dias/mês

Há tratamento prévio da água a ser utilizada? ☐ Sim ☐ Não Vazão tratada: _____ m^3/h _____ h/dia
Tipo de tratamento: _____
Caso o abastecimento não seja através de mananciais, a que distância se situa o corpo d'água superficial mais próximo? _____ m
Esse corpo d'água superficial é utilizado para abastecimento humano? ☐ Sim ☐ Não
Em caso afirmativo, esse corpo d'água recebe algum tratamento? ☐ Sim ☐ Não De que tipo? _____

Poço	Local instalado	Vazão do poço m^3/h	Vazão da bomba m^3/h	NE - m	ND - m	Regime horas/dia

Caso o abastecimento não seja através de poços, a que distância se situa o poço tubular mais próximo? _____ m
Esse poço é utilizado para abastecimento humano? ☐ Sim ☐ Não

6 - Utilização da água

Finalidade	Vazão média m^3/h	Há recirculação?	Vazão recirculada m^3/h	Reposição de perdas m^3/h
Sanitária		☐ Sim ☐ Não		
Lavagem		☐ Sim ☐ Não		
Refrigeração		☐ Sim ☐ Não		
Caldeiras		☐ Sim ☐ Não		
Processamento		☐ Sim ☐ Não		
Outras		☐ Sim ☐ Não		

Quantas vezes por ano é trocada a água dos sistemas de recirculação? _____

Qual o volume necessário para reposição total da água dos sistemas de recirculação? _____ m^3

7 - Resíduos Líquidos

Caracterização (tipo de efluente)	Vazão média m^3/h	horas/dia	Disposição Final
			☐ Rede pública ☐ Infiltração no solo ☐ Sistema de tratamento ☐ Corpos d'água superficiais Nome do rio, córrego ou ribeirão: _____

Tratamento do efluente

Tipo de efluente	Tipo de tratamento	Vazão tratada m^3/h	h/dia

8 - Esgotos Sanitários

Vazão média: _____ m^3h _____ horas/dia

Disposição final: ☐ Rede pública ☐ Infiltração no solo ☐ Sistema de tratamento ☐ Corpo d'água superficial

Nome do rio, córrego ou ribeirão: _____

Sistema de tratamento: _____ Vazão tratada: _____ m^3/h _____ horas/dia

Regime de lançamento: ☐ Em conjunto com os despejos industriais ☐ Em separado

9 - Resíduos Sólidos

Caracterização Citar composição aproximada	Quantidade t/mês	Classificação CF. NBR 10004	Disposição Conf. Código	Código
				1 - Aterro 2 - Lixão 3 - Infiltração no solo 4 - Estocagem 5 - Landfarming 6 - Outro (especificar) _____

10 - Observações Complementares

11 - Fonte de Informações

Informante: _____ Cargo: _____ Pesquisador: _____

Não Poluentes – NP – quando não geram efluentes líquidos ou sólidos

Potencialmente Poluentes – PP – quando podem ou não gerar efluentes líquidos e/ou resíduos sólidos que causem poluição.

Poluentes – P - quando provocam degradação ambiental com o descarte de efluentes líquidos e/ou resíduos sólidos que causam direta ou indiretamente impactos negativos ao meio ambiente.

Com base nesse critério, as indústrias levantadas pelo PROSAM tiveram o seguinte enquadramento:

	Belo Horizonte	Contagem	Total
Indústrias não poluentes – NP:	1346	203	1549
Indústrias potencialmente poluentes – PP:	952	413	1365
Indústrias poluentes – P:	124	87	211

As indústrias poluentes e potencialmente poluentes foram incluídas em um só grupo denominado ***Tendencialmente Poluente – TP,*** que incluiu 1076 indústrias em Belo Horizonte e 500 em Contagem, totalizando 1576 indústrias. Esse enquadramento foi baseado nas características dessas indústrias constantes nos cadastros acima referidos.

A análise da poluição dessas indústrias levou em consideração os seguintes elementos:

- área ocupada pela indústria
- existência e tipo de tratamento de efluente
- número de empregados
- consumo de água
- volume e características dos efluentes líquidos gerados
- destino dos efluentes líquidos gerados
- volume e características dos resíduos sólidos gerados
- destino do resíduo sólido gerado
- substâncias poluentes geradas

Os poluentes foram divididos nos seguintes tipos em função dos efluentes gerados nessas indústrias:

a) Efluentes líquidos

- *Poluentes orgânicos e sólidos*:

  DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxigênio) – DQO (Demanda Química de Oxigênio) – Sólidos em suspensão

- *Poluentes em metais pesados tóxicos:*

  As, Cr, Pb, Cu, Cd, Hg, Ni, Ag, Sr, Zn e Sn

- *Outros poluentes:*

  Fenóis, fósforo, sulfatos e cianetos.

As características dos efluentes líquidos nas 1576 indústrias tendencialmente poluentes nos municípios de Belo Horizonte e Contagem acham-se agrupadas por ramos de atividade industrial no Anexo 4.3., sendo os seguintes os totais desses poluentes em kg/dia:

DBO_5:	9.620,000
DQO:	28,311,000
Sólidos em suspensão:	15.170,000
Fenóis:	378,500
Fósforo:	53,720
Sulfatos:	2.869,910
Cianetos:	11,450
Arsênio:	0,002
Cádmio:	0,004
Chumbo:	36,195
Cobre:	5,210
Cromo hexavalente:	1,964
Estanho:	3,441
Mercúrio:	0,003
Níquel:	4,613
Prata:	0,004
Selênio:	0,002
Zinco:	23,049
Total dos metais pesados:	74,487

Por esses dados pode-se constatar o predomínio da poluição de origem orgânica no parque industrial dessas áreas.

b) Resíduos sólidos

Classificados segundo a NBR 10.004/87 da ABNT em:

Classe I – Perigosos – são aqueles que apresentam periculosidade em função de excederem os padrões da ABNT em relação à: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Classe II – Não inertes - são aqueles que não se enquadram nas classes I nem III, podendo apresentar as seguintes propriedades: combustibilidade, biodegrabilidade e solubilidade.

Classe III – Inertes - são aqueles que, submetidos a contato estático ou dinâmico com a água destilada, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores às estabelecidas na norma NBR 10.006.

Das 1076 indústrias tendencialmente poluentes de Belo Horizonte, temos os seguintes percentuais com relação à classe de resíduos sólidos e à sua destinação:

Classe I:	1,0 %
Classe II:	95,0 %
Classe III:	4,0 %
Resíduo mantido no pátio da indústria:	73,0 %
Resíduo comercializado:	25,0 %
Resíduo enviado a aterro público:	2,0 %

Os resíduos dominantes – Classe II – são passíveis de contaminar o meio ambiente, sobretudo as águas superficiais, quando carreadas pelas águas pluviais, e as águas subterrâneas, quando o soluto resultante da lixiviação desses resíduos se infiltra no subsolo.

O maior problema desses resíduos é a grande incidência de sua localização nos pátios das indústrias, pois geralmente não são dispostos com os cuidados que se fazem necessários para evitar que o produto de sua lixiviação pelas águas pluviais atinja os recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

A caracterização desses resíduos mostrou que 89% são produzidos pelas indústrias metalúrgicas, sendo insignificante a quantidade de resíduo gerado pelas demais atividades industriais.

Com relação ao número de empregados, a situação nas 1076 indústrias tendencialmente poluentes de Belo Horizonte pode ser visualizada no Quadro 9.13.

QUADRO 9.13 - NÚMERO DE EMPREGADOS NAS INDÚSTRIAS DE BELO HORIZONTE

NÚMERO DE EMPREGADOS	NÚMERO DE INDÚSTRIAS	%
< 5	431	40,0
6 – 50	550	51,0
51 – 100	49	4,6
101 – 200	26	2,5
> 200	20	1,9

Observa-se um predomínio das empresas industriais de porte pequeno a médio, com 91 % com menos de 50 empregados e 40 % com menos de 5 empregados.

Com o conhecimento das características das indústrias tendencialmente poluentes, foi procedida uma seleção a fim de observar *in situ* aquelas indústrias cujas especificidades as tornavam importantes representantes de determinada atividade industrial, bem como dos impactos ambientais por ela criados.

Os critérios utilizados nessa seleção tiveram os seguintes objetivos:

- abranger o maior número de tipologias presentes no banco de dados, com especial atenção para a categoria dos poluentes;
- pesquisar indústrias com grande consumo de água, cuja tipologia indicasse a geração de efluentes, tendo em vista que, para determinadas atividades, uma parte relevante da água é incorporada ao produto;
- abranger indústrias de pequeno porte, porém de tipologias consideradas altamente poluentes e com presença significativa no cadastro do Parque Industrial, como, por exemplo, aquelas que realizam tratamento superficial em metais;
- contemplar a seleção com todas as tipologias classificadas como **TP.**

Com tais critérios foram selecionadas 69 indústrias no município de Belo Horizonte, as quais foram vistoriadas tendo atualizados e detalhados os elementos já constantes do cadastro geral ou banco de dados.

No Quadro 9.14. pode ser observada a relação entre as 1076 indústrias tendencialmente poluentes – TP e as 69 selecionadas para o estudo detalhado, pelos critérios acima especificados,

distribuídas pelas distintas atividades com que foram divididas as indústrias pelo Ministério da Fazenda.

QUADRO 9.14 - DISTRIBUIÇÃO DAS INDÚSTRIAS POLUENTES POR ATIVIDADE

ATIVIDADE		Nº DE INDUST. TP	SELECIONADAS	
CÓDIGO	DESCRIÇÃO		NÚMERO	% DAS TP
10	Produtos minerais não metálicos	42	0	-
11	Metalurgia	184	9	5
12	Mecânica	97	3	3
13	Mat. elétrico, eletrotecn.e de Comunic.	60	4	15
14	Material de transporte	26	3	11
15	Madeira	01	0	-
16	Mobiliário	80	1	1
17	Papel, papelão e celulose	19	2	10
18	Borracha	21	2	10
19	Couro, pele e assemelhados	2	0	-
20	Química	52	3	6
21	Produtos farmacêuticos e veterinários	13	1	1
22	Petróleo e Destilação de Álcool	2	1	50
23	Materiais Plásticos	42	3	7
24	Têxtil	13	6	46
26	Produtos Alimentícios	108	15	14
27	Bebidas	5	3	60
29	Editorial e Gráfica	194	5	3
30	Diversos	68	0	-
31	Calçados	3	0	-
33	Construção	7	3	43
5311	Lavanderia e Tinturaria	5	2	40
5576	Fotografia e Laboratório de revelação	30	1	3
5584	Tingimento e Estamparia	2	2	100
TOTAIS		1076	69	

O Anexo 4.4. mostra a carga poluidora da maior parte das 69 indústrias selecionadas, em função da vistoria procedida nessas indústrias onde, além do levantamento detalhado de suas características operacionais e ambientais, foram procedidas análises de seus efluentes.

Em função da caracterização detalhada dessas indústrias, foi procedida uma classificação final de sua capacidade potencial poluidora, obedecendo aos seguintes critérios classificatórios:

Classe A: Indústrias que reclamam intervenção imediata por parte do órgão de controle ambiental, por serem responsáveis pela carga poluente mais relevante.
Apresentam pelo menos uma das seguintes condições:
$DBO_5 > 100$ mg/L
Metais pesados > 0,10 mg/L
Sólidos suspensos > 50 mg/L

Classe B: Indústrias que precisam receber um monitoramento constante mas não são consideradas prioritárias do ponto de vista ambiental em função do efluente líquido.
Apresentam pelo menos uma das seguintes condições:
DBO_5 entre 99 e 25 mg/L
Metais pesados entre 0,09 e 0,04 mg/L
Sólidos suspensos entre 49 e 10 mg/L

Classe C: Indústrias que embora apresentem algumas anomalias na qualidade dos efluentes lançados não demandam intervenção imediata em função das cargas serem relativamente baixas.
Apresentam uma das seguintes condições:
DBO_5 entre 24 e 5 mg/L
Metais pesados entre 0,03 e 0,001 mg/L
Sólidos suspensos entre 9 e 2 mg/L

Classe D: Indústrias que não apresentam problemas na qualidade de seus efluentes, que possuem as seguintes características:
$DBO_5 < 5$ mg/L
Metais pesados < 0,001 mg/L
Sólidos suspensos < 2 mg/L

Classe E: Indústrias que não apresentam efluentes.

O Quadro 9.15 apresenta a classificação final da poluição das 69 indústrias investigadas (Classes A a E), indicando ainda a classificação de seus resíduos sólidos pela NBR 10.004 da ABNT (I, II e III) e uma revisão para a classificação original da potencialidade de poluição (P-PP-NP).

QUADRO 9.15 - CARACTERÍSTICAS DAS PRINCIPAIS INDÚSTRIAS DE BELO HORIZONTE

Nº	RAZÃO SOCIAL	ENDEREÇO	COORDENADAS - UTM		ATIVIDADE		POT. POL.	CLAS ABNT	CLAS POL.
			LONGIT.	LATIT.	COD.	PROC./PROD.			
01	Alumafer Esquad.de Alum.e Ferro Ltda.	Av.Cristiano Machado,7200	611.930	7.803.330	1164	Esquad.de alumínio	PP	III	E
02	Belomassa Produtos Alimentícios Ltda.	Av.Dep.Cláudio P.de Lima,1140	603.961	7.799.004	2681	Massas alimentícias	PP	II	E
03	Brasil Beton S.A.	Rod. BR-262 – km 4,5	603.980	7.795.455	3322	Concretagem	PP	III	E
04	Central Beton S.A.	Av.Santa Bárbara, s/n	606.907	7.787.680	3322	Concretagem	PP	III	E
05	Cera Inglesa Ind. e Com. Ltda.	Rua Estoril, 1432	606.160	7.801.953	2084	Produtos de limpeza	P	II	C
06	CGB Artes Gráficas Ltda.	Rua Horta Barbosa, 330	611.699	7.799.817	2932	Indústria gráfica	PP	I/III	C
07	Color Têxtil Participações Ltda.	Av.Barão de Monte Alto, 249	604.000	7.788.335	2434	Tecel. e Tinturaria	P	-	A
08	Companhia Renascença Industrial	Rua Paru, 784	611.468	7.800.194	2434	Fiação e tecelagem	P	III	A
09	Coop.Central dos Prod.Rurais de MG	Rod.BR-262 – km 9 – Anel Rodov.	603.750	7.794.750	2671	Beneficiam. leite	P	III	A
10	Coop.dos Granjeiros do Oeste de Minas	Av.Dr. Cristiano Rezende, 5861	605.685	7.789.595	2654	Abate de frango	P	II	B
11	Diário do Comércio Emp.Jornal Ltda.	Av.Américo Vespúcio, 1660	608.740	7.799.450	2911	Impressão de jornais	PP	I/II/III	C
12	Digitus Ind. e Com. e Serv. Eletrônica	Rua Gávea s/n	607.281	7.795.020	1361	Inform. e eletrônica	NP	III	E
13	Etros Eng. Ltda. – Usina de Asfalto	R.Pedro Mor. do Nascimento 500	607.025	7.788.165	2211	Produção de asfalto	P	I/III	D
14	Fábrica de Biscoitos Frei Eustáquio Ltda	Rua Manuel Fulgêncio, 60	609.397	7.803.348	2683	Biscoitos	PP	-	C
15	Fênix Tracionária Ltda.	Rua dos Operários, 159	610.048	7.800.255	1331	Baterias de veículos	PP	I/II	D
16	Ferrosider Ind. e Com. de Prod.Siderurg.	Rua Sebastião Viana, 80	606.002	7.931.237	1105	Tubos de aço c/cost.	PP	III	E
17	Fosfamig Ltda.	Rua C, 350 –Dist.Indust.de Jatobá	600.575	7.788.365	1182	Galvanoplastia	P	III	B
18	Foto Studio e Fotoprocessam. MG Ltda.	Av. 31 de março 967	605.145	7.796.755	5576	Revelação de filmes	P	III	C
19	Franco Matos Ind. e Com. de Malhas	Rua A,91 – Dist. Indust. de Jatobá	600.981	7.789.841	2434	Malhas	P	II/III	A
20	Freios BH Ltda.	Rua Alice Terraiama, 100	604.534	7.794.804	1433	Pastilha/lona freio	PP	II	E
21	Frigorífico Modelo Ltda.	Rua Modelo 371	612.096	7.802.842	2651	Abate bovi. e suíno	P	-	A
22	Frigorífico Perrela Ltda.	Av. do Contorno, 2416	612.572	7.796.949	2655	Carnes e derivados	P	II/III	A
23	Gráfica Valéria Ltda.	Rua Belmiro de Almeida, 308	609.940	7.799.855	2929	Indústria gráfica	PP	I	E
24	Guelmean Têxtil Ltda.	Av. Quinze, 260	602.106	7.794.850	2413	Benefic. de tecidos	NP	III	E
25	Guiatel S.A.-Edit. de Guias Telefônicas	Av.Gov.Benedito Valadares, 977	605.214	7.795.510	2931	Editora e gráfica	PP	I/III	C
26	Hexágono Industrial Ltda.	Av. Solferina Ricci Pace, 415	600.493	7.788.446	1259	Arame de aço	PP	III	E
27	Ideal Alimentos Ltda.	Av.Barão Homem de Melo, 1997	607.605	7.795.275	2681	Massas alimentícias	PP	II	D
28	Imprensa Oficial do Estado de MG	Av. Augusto de Lima, 270	611.065	7.796.625	2931	Impressão de jornais	PP	II/III	E
29	Indústria de Apar.Elétricos Cherubino	Av. Silviano Brandão, 485	612.082	7.798.819	1341	Resistên. elétricas	PP	II/III	B
30	Indústria de Carnes e Derivados S.João	Rua Walter Uanini, 100	613.063	7.804.020	2651	Desossa de carcaças	P	II	A
31	Indústria de Móveis Mazziero Ltda.	Rua Monte Siplon, 225	606.574	7.795.980	1611	Móveis de madeira	PP	II/III	E
32	Indústria de Refrigerantes Del Rey Ltda.	Av. Pres.Antônio Carlos, 3450	609.892	7.801.310	2741	Refrigerantes	P	II/III	A
33	Indústria de Transformadores KING Lt.	Rua Conselheiro Lafaete, 319	607.644	7.798.344	1311	Transformadores	PP	I/III	E

34	Ind.e Com.de Carnes Américo Vespúcio	Av.Américo Vespúcio, 943	609.108	7.800.122	2655	Carnes bov. e suínas	P	II/III	C
35	Indústria Têxtil Correa Sodré Ltda.	Rod.BR-262, 2870 – km 15,3	607.705	7.800.585	2443	Tecido cru (sacos)	NP	III	E
36	Industrial Horizonte Textil Ltda.	Av.Bernardo de Vasconcelos, 638	610.360	7.800.725	2434	Benef.de tecidos	P	II	A
37	Kadron S.A.	Rua Agenário Araujo, 366	603.487	7.794.952	1432	Peças automotivas	PP	III	C
38	KMYC Estamparia e Produções Ltda.	Rua Caldas da Rainha, 1617	609.373	7.801.979	2434	Estamparia serigráf.	P	III	C
39	Laboratório Globo Ltda.	Av. Montese, 840	608.265	7.806.471	2111	Indust. farmacêutica	PP	II/III	D
40	Lac Minas Ltda.	Rua Meira de Vasconcelos, 81	610.390	7.802.485	2671	Queijo parmezon	P	-	E
41	Lácua di Fiori Produtos Aromáticos Lt.	Rua Gen.Andrade Neves, 204	608.725	7.795.723	2085	Perfume/cosmético	PP	III	C
42	Laticínios Sucos e Sorvetes PAP Ltda.	Rua Belmiro de Almeida, 288	609.970	7.799.770	2691	Sucos e sorvetes	PP	III	C
43	Lorde Lavandaria de Luxo Ltda.	Rua Sílex 70	603.340	7.794.825	5311	Lavandaria	P	-	C
44	Madson Eletro Metalurgia Ltda.	Rua Jerônimo Marcucci, 74	607.532	7.788.063	1182	Eletrodomésticos	P	II/III	A
45	Manesmann S.A.	Av. Olinto Meireles, 65	603.095	7.791.307	1104	Tubos aço/chapas	P	I/II	A
46	Mate Couro S.A.	Rua Ninive, 640	603.025	7.799.414	2741	Refrigerantes	P	III	A
47	Metalúrgica Triângulo S.A.Metrila	Rua Padre Eustáquio, 175	609.360	7.797.610	1222	Mat.Hidrául.o/sanit.	PP	II/III	A
48	Pink Alimentos do Brasil	Rua Úrsula Paulino, 1321	605.786	7.792.602	2699	Benefic.de cereais	NP	III	C
49	Plabat Ind. e Com. Ltda.	Rua Tavares de Melo, 132	610.085	7.801.425	1331	Baterias de veículos	PP	I/II	E
50	Plastikero Ind. e Com. Ltda.	Av. Manoelita Chaves, 151	608.534	7.798.401	2326	Embalag. plásticas	PP	I/II	D
51	Pneusola Pneus e Peças Ltda.	Av. Amazonas, 8556	604.175	7.794.320	1821	Reforma de penus	PP	III	E
52	Pneus Nacional Ltda.	Rua Araguari, 235	610.120	7.797.105	1821	Reforma de pneus	PP	III	E
53	Quiminas Ind. e Com. Ltda.	Rua A, 131 – Dist.Indust.de Jatobá	600.942	7.789.829	2061	Produtos químicos	PP	*I*	B
54	Radiadores Original Ltda.	Rua Francisco Socasseaus, 54	610.806	7.798.311	1224	Radiadores	PP	III	B
55	Ram Ind. e Com. Ltda.	Rua Tenente Brito Melo, 101	609.570	7.797.225	2681	Massas alimentícias	PP	III	E
56	Refrigerantes Minas Gerais Ltda.	Rod.BR-262m 2233 – km 2	608.155	7.800.825	2741	Refrigerantes	P	III	B
57	Ribeiro Fonseca Laticínios S.A.	Rua Laudelina Carneiro, 457	605.988	7.793.136	2671	Empacotam.de leite	P	*I/*	C
58	Serial Comunicação Visual Ltda.	Rua Horta Barboas, 330	611.705	7.799.820	5584	Serigrafia	P	I/II/III	C
59	Stampa Impl. Publicitario Ltda.	Rua Domingos de Souza, 95	608.790	7.798.475	5584	Art. em serigrafia	P	I	C
60	Sucabel Ltda.	Rua São Lázaro, 1199	612.475	7.799.385	2326	Embalag. plásticas	PP	I/II	C
61	Sudoeste Plásticos Ltda.	Av. Perimetral, 2205	601.770	7.788.544	2329	Granul. de plástico	PP	I	C
62	Super Aço Construções Mecânicas	Av. Solferina Ricci Pace, 450	600.476	7.788.426	1131	Estruturas metálicas	PP	I	E
63	Super Aço Técnica Ltda.	Rua C, 15 – Dist.Industr.de Jatobá	600.420	7.788.358	1432	Peças automotivas	PP	III	E
64	Técnica em Moldes e Estampas Ltda.	Rua Lambda, 171	608.166	7.799.918	1432	Peças automotivas	PP	III	E
65	Tecno-ar Indústria e Comércio	Rua Dr. Gordiano, 44	608.274	7.797.139	3323	Ar condicionado	NP	III	E
66	Tinturaria Prisma Ltda.	Av. N.Sra. de Fátima, 3000	609.065	7.797.325	5311	Tingim. de roupas	P	-	C
67	Torres Organizações de Lavandaria Ltda	Rua Pitt, 69	612.490	7.801.220	5311	Lavagem de jeans	P	III	C
68	Tubonal Ferro e Aço Ltda.	Rod. BR-262 – km 6,5	608.237	7.798.988	1105	Tubos de aço	PP	II/III	E
69	Tuma Industrial Ltda.	Av.Senador Levino Coelho, 47	601.000	7.789.540	1344	Condicionador de ar	PP	III	E

PROC. = PROCESSO; **POT.POL.** = POTENCIAL POLUIDOR; **CLAS.ABNT** = CLASSE DA ABNT (RESÍDUO SÓLIDO); **CLAS.POL.** = CLASSE COMO POLUIDOR

A distribuição dessas indústrias pela classe de poluição final é a seguinte:

Classe A:	13 - 19%
Classe B:	6 - 9%
Classe C:	20 - 29%
Classe D:	5 - 7%
Classe E:	25 - 36%

Observa-se que 43% das indústrias analisadas não apresentam qualquer risco de contaminação e 38% apresentam um risco muito incipiente.

Apenas 19% representam elevado risco de contaminação, o que, em princípio, poderia significar que 204 indústrias estariam nessa situação em Belo Horizonte, mantida a mesma proporção para as 1076 indústrias tendencialmente poluentes.

Tal não ocorre, pois na seleção que resultou em 69 indústrias foram observadas as piores situações de contaminação e aquelas enquadradas na Classe A apresentam no Quadro 9.16 os quantitativos e respectivos percentuais em relação à poluição causada pelas 69 indústrias.

QUADRO 9.16 - QUANTITATIVOS TOTAIS DAS INDÚSTRIAS CLASSE A

PARÂMETRO	UNIDADE	QUANTIDADE	% DO TOTAL
Efluentes Líquidos	m^3/dia	15.854	84
Sólidos suspensos	kg/dia	9.996	95
DBO_5	kg/dia	5.246	83
DQO	kg/dia	19.185	86
Metais pesados	kg/dia	22	96

Em termos de resíduo sólido, as 13 indústrias de Classe A de Belo Horizonte produzem 359.781 t/ano, o que corresponde a 72% das 160 indústrias detalhadas nos municípios de Belo Horizonte e Contagem, que produzem anualmente 498.781 toneladas.

Nota-se por esses dados, que as indústrias classificadas como Classe A em Belo Horizonte, embora em número reduzido, representam em média, 86% das piores características da poluição industrial presente nesse município.

Essas 13 indústrias distribuem-se nas seguintes atividades:

Produtos Alimentícios:	4	31%
Têxtil:	4	31%
Metalurgia:	3	23%
Bebidas:	2	15%

Analisando-se o quadro do Anexo 4.4., constatam-se os seguintes tipos de poluentes nos efluentes líquidos das indústrias pertencentes a essas atividades:

Produtos alimentícios: predomínio da contaminação orgânica, com elevadas taxas de DBO_5 e DQO e sólidos em suspensão. Os demais poluentes apresentam quantidades insignificantes, principalmente os metais.

Têxtil: apresentam contaminação por matéria orgânica (DBO_5 e DQO) e também por metais pesados, principalmente Pb, Zn e Cu.

Metalurgia: a maior parte apresenta apenas contaminação por metais, especificamente para Pb, Cu, Ni e Zn, entretanto a Manesman apresenta além desses metais, contaminação por Cr, Sn, cianetos, fenóis, sulfatos e DBO_5, DQO e sólidos suspensos.

Bebidas: predomínio da contaminação orgânica através de elevados teores de DBO_5 e DQO, embora uma delas tenha também apresentado contaminação por metais pesados através de Pb e Cd.

Em termos de resíduo sólido, constata-se que 96,5 % dos resíduos são encontrados nas indústrias metalúrgicas e 3,0 % nas indústrias de alimentação, sendo praticamente isentas de resíduo sólido as indústrias têxteis e de bebidas.

9.3.5. Caracterização das indústrias mais poluidoras de Belo Horizonte

As 13 indústrias classificadas com Classe A e que representam o maior risco de contaminação para as águas superficiais e subterrâneas, apresentam as características resumidas no Quadro 9.17.

QUADRO 9.17 - CARACTERÍSTICAS DAS INDÚSTRIAS MAIS POLUENTES DE BELO HORIZONTE

Nº	ÁREA - m^2		EMPREGADOS	Nº DE POÇOS	CONSUMO D'ÁGUA m^3/ano	EFLUENTE LÍQUIDO		RESÍDUOS SÓLIDOS			PRINCIPAIS POLUENTES DO EFLUENTE
	TOTAL	ETE				m^3/ano	DEST.	T/ano	CL.	DEST.	
07	13.000	2.000	118	3	341.647	151.012	Córrego	-	-	-	DQO (700 mg/L)
08	74.043	-	650	4	206.786	181.512	Rede pública	357	III	Vendido	Pb(0,13 mg/L; Óleos (77 mg/L); DBO_5 (488 mg/L); DQO (2220 mg/L)
09	41.400	600	918	1	122.304	118.283	Rede pub.	180	III	Vendido	Óleos (812mg/L); STS (320 mg/L); DQO (1211 mg/L)
19	17.617	150	149	3	500.804	193.032	Rede pub.	15	II/III	Vemdido	Pb (0,14 mg/L); pH (11,5); Óleos (31 mg/L); Temp.(44°C)
21	12.838	-	240	3	257.919	260.397	Rede pública	-	-	-	DBO_5(2020 mg/L); STS(6200 mg/L); Óleos (1962 mg/L) DQO (4352 mg/L)
22	5.000	300	170	-	16.957	16.318	Rede pública	1.345	II/III	Vendido	Pb(0,19 mg/L); DQO(2290 mg/L) DBO_5(1440 mg/L); Óleos (902 mg/L)
30	22.400	1.000	709	1	84.929	60.135	Córrego	9.360	II	Vendido	DBO_5(1110 mg/L); STS(206 mg/L); DQO(4320 mg/L)
32	3.000	25	173	3	65.603	46.244	Rede pub.	520	II/III	Vem+AP	DBO_5(1320 mg/L); Óleos(49 mg/L); DQO(4020 mg/L)
36	59.000	1.600	230	10	172.243	159.957	Córrego	58	II	Vendido	Pb(0,15 mg/L); DBO_5(960 mg/L) DQO(1720 mg/L); Óleos(47 mg/L)
44	10.278	-	307	1	12.622	11.262	Córrego	30.300	I/II	At.Públ.	Pb(0,14 mg/L); Zn(5,6 mg/L); DQO(635 mg/L)
45	2.894.921	500	5.166	5	4.408.875	4.197.226	Rio e Corrégo	316.769	I/II	Pilhas no pátio	Pb(0,92 mg/L); Cian.(2,6 mg/L); Fen.(68,9 mg/L); DQO(1455 mg/L
46	18.000	1.000	364	6	382.261	305.809	Córrego	819	III	Vem+AP	Pb(0,4 mg/L); Óleos (50 mg;L); DQO(1506 mg/L); Óleo (50 mg/L
47	5.500	-	103	-	6.632	6.292	Rede Pub.	58	II/III	Réu+vem	Cu(12,7 mg/L); Pb (2,43 mg/L) Ni (17,9 mg/L); DQO(760 mg/L)

Dessas indústrias, três não existem mais em Belo Horizonte: a Indústria Del Rey transferiu-se para o município de Vespasiano; a Cia. Renascença Industrial Ltda transferiu-se para Contagem e Franco Matos Indústria e Comércio de Malhas Ltda. encerrou suas atividades definitivamente.

9.3.5.1. Análise genérica das indústrias poluentes

Das 10 indústrias restantes, pode-se fazer a seguinte análise com base nas características apresentadas no Quadro 9.17.

a) Área ocupada

O Quadro 9.18 apresenta uma distribuição das indústrias por área de ocupação:

QUADRO 9.18 - NÚMERO DE INDÚSTRIAS POR ÁREA OCUPADA

ÁREA - Ha	NÚMERO	% DO TOTAL
< 1	2	20
1 a 5	6	60
5 a 10	1	10
> 10	1	10

Observa-se que 80% das indústrias ocupam área menor que 5,0 ha e apenas uma (Manesmann) ocupa uma extensão realmente significativa (289 ha). Com relação à área ocupada, 80% das indústrias são consideradas empresas de grande porte, pela classificação da legislação ambiental em vigor, conforme já referido, que considera uma indústria de grande porte quando possui mais de 6.000 m^2.

b) Estação de tratamento de efluentes

Sete indústrias possuem estação de tratamento de efluentes líquidos e das três que não a possuem, apenas uma não apresenta metais tóxicos entre seus efluentes (Frigorífico Modelo).

As indústrias Madson Eletrometalúrgica e a Metalúrgica Triângulo apresentam elevados teores de Pb, Zn, Cu e Ni em seus efluentes, que são despejados diretamente na rede pública .

c) Número de empregados

Embora nem sempre as indústrias de maior porte sejam as mais poluentes, 70% das indústrias mais problemáticas (Quadro 9.17) são classificadas como de grande porte em função do número de empregados (mais de 200 empregados). Esse critério ratifica a escolha dessas indústrias como as mais poluentes, pois, das 1076 indústrias poluentes de Belo Horizonte, menos de 2% são consideradas de grande porte pelo número de empregados (Quadro 9.13).

d) Consumo d'água

O consumo de água em uma indústria é um parâmetro importante por influir decisivamente na produção do efluente líquido, já que o volume médio do efluente líquido nessas 10 indústrias corresponde a 86% de toda a água consumida nessas indústrias. O Quadro 9.19 apresenta uma distribuição das indústrias por consumo diário de água.

QUADRO 9.19 - NÚMERO DE INDÚSTRIAS POR ÁGUA CONSUMIDA DIARIAMENTE

CONSUMO DIÁRIO m^3	NÚMERO	% DO TOTAL
< 100	3	30
100 a 500	3	30
500 a 1.000	2	20
> 1.000	2	20

Um consumo d'água diário superior a 100 m^3 já caracteriza uma grande indústria, o que ocorre com 70% dessas indústrias.

e) Efluentes gerados e sua destinação

Nessas indústrias são gerados 5.286.699 m^3 de efluentes líquidos por ano (14.685 m^3/dia), com contaminação orgânica em todos esses efluentes, caracterizados por elevadas taxas de DBO_5 ou DQO.

O que preocupa são, contudo, as elevadas concentrações de metais pesados como Pb (presente em 60% dos efluentes), Zn, Cu e Ni, além de fenóis e cianetos.

A destinação desses efluentes é feita em 60% dos casos diretamente nos córregos e rios da cidade e o restante na rede de esgotos, que acaba desaguando esses efluentes também nos cursos d'água superficiais.

Assim, a infiltração dos metais pesados é praticamente uma constante ao longo dos leitos de rios e riachos, embora sua concentração seja reduzida pela diluição com essas águas, antes de penetrarem no subsolo para contaminarem as águas subterrâneas.

f) Resíduos Sólidos

Das 10 indústrias analisadas, apenas 4 produzem grandes quantidades de resíduo sólido (>1.000 t/ano).

Dessas, todas produzem resíduos classe II e uma produz também resíduo classe I (Manesmann).

No total, são produzidos 358.889 t/ano de resíduo sólido, ou 983 t/dia, o que daria uma média de 98 t/dia por indústria. Esse número não exprime a realidade pois, excluindo a Manesmann, esse número cai para apenas 12,8 t/dia por indústria.

A maior parte das indústrias (90%) comercializa esses resíduos ou os encaminha para aterros públicos, porém a indústria que mais gera resíduos sólidos (Manesmann) conserva a maior parte desses resíduos em seu pátio interno.

9.3.5.2. Análise com base em vistoria

Das 10 indústrias que permaneceram como mais poluentes, foram escolhidas 8 para análise *in loco* das condições de contaminação, por possuírem poços tubulares que ensejariam a aferição de eventual contaminação das águas subterrâneas.

As que não possuem poços – Frigorífico Perrela e Metalúrgica Triângulo – são indústrias menores e com características mais brandas com relação aos efluentes líquidos e sólidos gerados.

Das 8 selecionadas, 3 negaram acesso às suas instalações – Color Têxtil, Indústria e Comércio de Carnes e Derivados São João e Cooperativa Central dos Produtores Rurais de Minas Gerais.

A análise das 5 restantes revelou o seguinte quadro:

a) Manesmann S.A.

Pela simples análise do Quadro 9.17, pode-se observar que essa indústria pode ser considerada a mais poluente de Belo Horizonte, não apenas pelos elevados volumes dos efluentes líquidos e sólidos gerados, mas, principalmente pela natureza das substâncias tóxicas encontradas nesses efluentes.

Ocupando uma área de 289 ha, essa indústria produz 79% dos efluentes líquidos de todas as indústrias mais poluentes e 88% de todo o resíduo sólido, que ainda é quase totalmente armazenado em seu pátio interno.

A empresa possui 5 poços tubulares (um deles visto na foto 9.5), que em conjunto produzem 27,80 m^3/hora, ou seja, 2,7% do volume de água consumida por essa indústria.

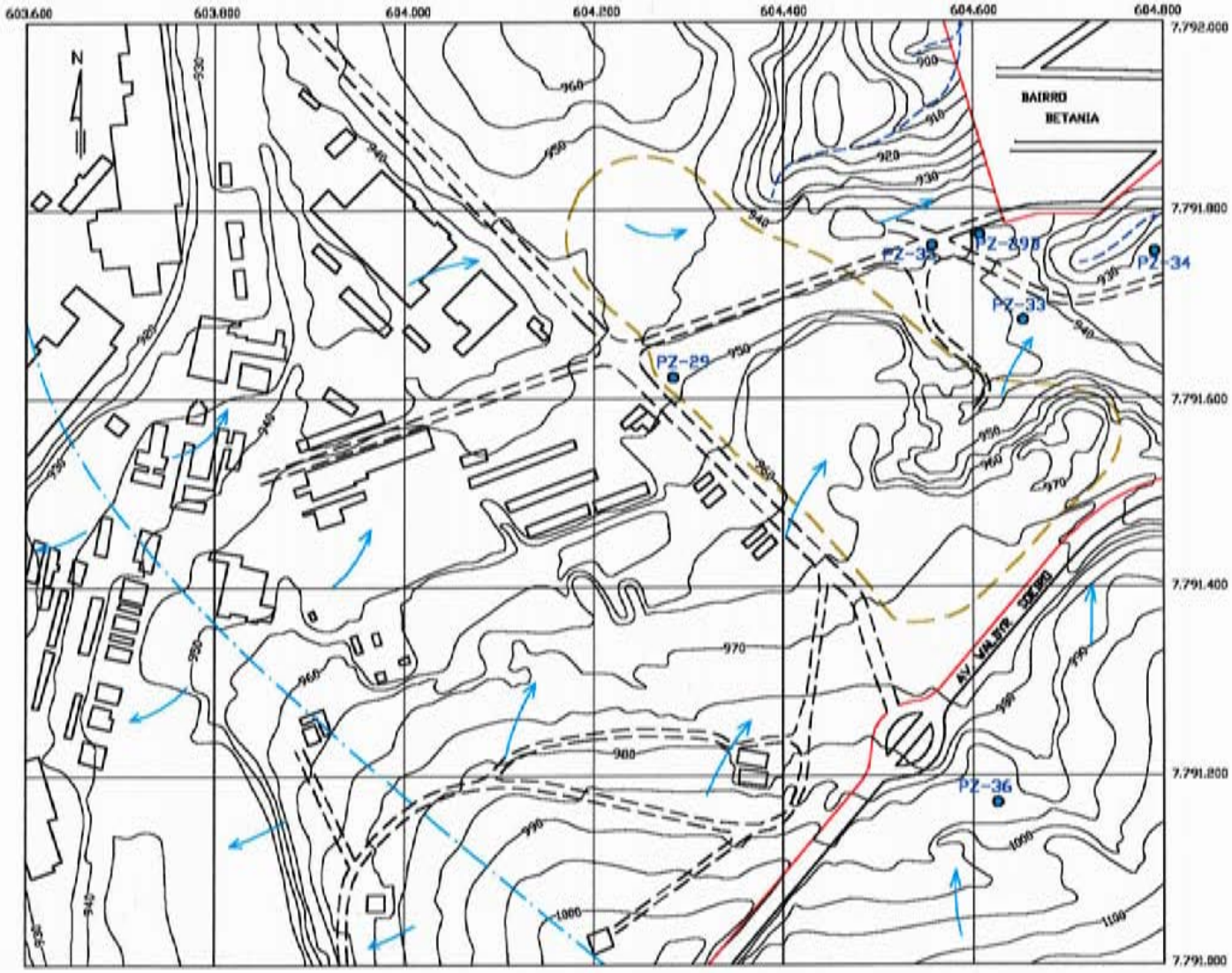
As águas desses poços não estão contaminadas, isso porque, todos os poços encontram-se alinhados segundo a direção aproximadamente NS e localizados na extremidade oeste da área ocupada pela indústria.

Os resíduos sólidos são depositados na extremidade leste dessa área, como mostrado na figura 9.6, e entre essas duas áreas existe um divisor topográfico que divide o fluxo superficial e também o subterrâneo, como indicado nessa figura. Assim, a oeste desse divisor, que tem a direção aproximadamente NW-SE, as águas fluem para o Rio Arrudas, visto na foto 2.4 recebendo os efluentes líquidos misturados aos esgotos dessa indústria; a leste desse divisor as águas fluem para o Córrego do Bom Sucesso, que aflui ao rio Arrudas muito a jusante dessa indústria.

Os resíduos sólidos gerados nessa indústria e depositados nessa parte leste, com respectivos quantitativos e classificação são os seguintes:

FOTO 9.5 - Um dos 5 poços tubulares existentes na Indústria Manesman.

FOTO 9.6 - Um dos 10 poços tubulares existentes na Indústria Têxtil Renascença, acabando de ser instalado.



LEGENDA

- CURVA DE NÍVEL
- RUA OU AVENIDA EXTERNA
- ACESSO INTERNO
- CONSTRUÇÃO INDUSTRIAL
- ÁREA DE RESÍDUOS SÓLIDOS
- LIMITE DO PÁTIO INDUSTRIAL
- NASCENTE DE CÓRREGO
- DIVISOR DE FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA
- SENTIDO DO FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA
- PZ-09 POÇO DE MONITORAMENTO

ESCALA

100 0 100 200 300m

FIGURA 9.6

CONTROLE DE CONTAMINAÇÃO NA INDÚSTRIA MANESMAN S.A.

- Moinha de carvão vegetal – classe II: 41.220 t/ano
- Óxido de chumbo em pó – classe II: 60 t/ano
- Carepa da laminação automática – classe II: 3.144 t/ano
- Carepa da laminação de barras – classe II: 6.264 t/ano
- Carepa de lingotamento contínuo – classe II: 5.028 t/ano
- Carepa de laminação média – classe II: 2.028 t/ano
- Carepa de hidrociclone – classe II: 1.644 t/ano
- Escória da aciaria – classe II: 73.680 t/ano
- Escória de alto forno – classe II: 63.600 t/ano
- Lama de laminação – classe II: 2.367 t/ano
- Lama da lavagem de gás de aciaria – classe II: 13.956 t/ano
- Lama de lavagem de fero gusa – classe II: 31.200 t/ano
- Lama de neutralização de ácidos – classe II: 3.060 t/ano
- Lama de quebra de emulsão de óleo solúvel – classe II: 204 t/ano
- Resíduo de fosfato usado – classe II: 180 t/ano
- Resíduo de sabão usado – classe II: 1.536 t/ano
- Pellets – classe II: 372 t/ano

Na área a jusante dos depósitos de resíduos sólidos foram executados 6 poços para monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, conforme indicado no mapa da figura 9.6. Um poço foi perfurado a montante da área de deposição de resíduos para funcionar como "back ground" na análise da contaminação (PZ-36).

Foram realizadas duas campanhas de controle, nos dias 12.09.00 e 04.06.01, sendo os resultados apresentados no Quadro 9.20. A segunda linha de cada parâmetro nesse quadro corresponde à amostragem realizada em 04.06.01.

Analisando esses resultados podem-se tirar as seguintes conclusões:

- a turbidez elevada é devida à má construção dos poços (falta de pré-filtro);
- no período de 9 meses (entre as duas amostragens) 8 parâmetros foram sensivelmente reduzidos (cloretos, Ba, Cd, Cr, Hg, Na, Pb e Zn); 4 variaram para mais ou para menos nos poços monitorados (pH, fenóis, Al e Mn); e 1 aumentou (turbidez);
- os valores anormais de pH, ferro, alumínio e manganês não revelam contaminação do aqüífero, sendo conseqüentes da salinização natural das águas subterrâneas locais pelos minerais ferromagnesianos do filito;

QUADRO 9.20 - RESULTADOS DOS POÇOS DE MONITORAMENTO NA ÁREA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA MANESMANN

PARÂM.	UNID.	LIM.	PZ-29	PZ-29B	PZ-29D	PZ-33	PZ-34	PZ-35	PZ-36
pH	-	6 a 9**	5,57	5,62	6,12	3,00	6,25	7,51	6,78
			-	-	-	7,35	5,53	5,56	5,90
STD	mg/L	1000**	51	1.331	414	5.689	52	1.408	73
			-	-	-	-	-	-	-
Turbidez	UNT	5*	14	19	200	49	20,8	9	5,1
			-	-	-	9,7	25,0	129	11,0
Cloretos	mg/L	250*	10,92	740,48	116,13	1.580,2	6,45	230,28	< 0,5
			-	-	-	660	8,50	34,32	0,50
Sulfatos	mg/L	0,05*	0,01	< 0,001	0,193	0,003	0,021	0,017	0,004
			-	-	-	-	-	-	-
Fenóis	mg/L	0,001**	0,008	< 0,001	0,001	0,003	0,002	0,004	0,002
			-	-	-	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Al	mg/L	0,200*	1,23	1,28	26,3	0,21	0,97	100,87	2,96
			-	-	-	1,26	1,10	5,40	0,88
Ba	mg/L	0,700*	20,09	0,29	7,65	1,00	< 0,25	0,93	< 0,25
			-	-	-	0,40	0,07	0,93	< 0,005
Cd	mg/L	0,005*	0,004	0,007	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,037	< 0,001
			-	-	-	0,002	0,001	0,004	< 0,001
Cr	mg/L	0,050*	0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,14	< 0,05
			-	-	-	0,02	< 0,01	0,01	< 0,01
Fe	mg/L	0,300*	1,40	0,70	79,20	1,20	1,10	133,20	< 0,10
			-	-	-	-	-	-	-
Hg	mg/L	0,0001*	0,005	0,0015	0,0005	0,0006	0,0003	0,0007	0,0002
			-	-	-	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Mn	mg/L	0,100*	0,25	0,06	0,47	0,53	2,11	34,27	0,48
			-	-	-	0,85	2,60	11,80	0,06
Na	mg/L	200*	62,88	10,22	71,29	108,57	12,77	773,57	8,89
			-	-	-	64,60	4,31	14,56	2,52
Ni	mg/L	-	0,044	< 0,012	-	0,02	< 0,02	0,22	< 0,02
			-	-	-	-	-	-	-
Pb	mg/L	0,010*	0,089	< 0,025	0,193	0,017	0,060	0,610	0,032
			-	-	-	0,05	0,03	0,16	0,03
Zn	mg/L	5,00*	0,13	< 0,05	0,19	< 0,05	0,78	2,17	< 0,05
			-	-	-	0,05	0,20	0,53	0,04

* Portaria 1469 do M.S. ** Portaria 36 do M.S. Em vermelho: Limites excedidos

- a comparação entre o "back ground" e os demais poços de monitoramento revela uma ***efetiva contaminação*** do aqüífero que flui para o Córrego Bom Sucesso em maior proporção por cloretos, Al, Ba, Cd e Pb e em menor proporção por fenóis, Cr, Hg e Na

- a contaminação acima caracterizada deve ser conseqüência da lixiviação das pilhas de resíduos sólidos pelas águas pluviais e a conseqüente infiltração do soluto resultante dessa lixiviação.

b) Industrial Horizonte Têxtil Ltda.

Essa é uma das 3 indústrias têxteis classificadas entre as 10 remanescentes mais poluentes de Belo Horizonte.

Existiam nessa indústria 7 poços tubulares que produziam no total 421 m^3/dia, enquanto o consumo total de água é de 471 m^3/dia. Por isso foram abertos mais 3 poços, um dos quais é visto em fase de acabamento de instalação na foto 9.6, visando tornar essa indústria auto-suficiente no consumo de água.

Os efluentes líquidos dessa indústria apresentam como principais poluentes o chumbo (0,15 mg/L), óleos e graxas (47 mg/L) e a demanda de oxigênio (DBO_5 = 960 mg/L e DQO = 1.720 mg/L). Esses efluentes são gerados em volume médio diário de 440 m^3 e são lançados em um córrego que se acha hoje revestido na forma de galeria pluvial.

Os resíduos sólidos gerados são constituídos por:

- cinzas – classe II: 34,56 t/ano
- tambores – classe II: 21,60 t/ano
- bombonas – classe III: 2,16 t/ano

Todos os resíduos sólidos são comercializados ou doados, somente permanecendo no pátio da indústria em períodos muito curtos e ainda assim sobre piso cimentado.

Apesar das análises químicas efetuadas nas águas dos poços existentes não acusarem qualquer contaminação das águas subterrâneas, foi amostrado o poço situado a jusante da indústria em relação ao fluxo das águas subterrâneas (poço 254). A única contaminação acusada foi por nitrato (17,0 mg/L), que pode não estar associada à atividade industrial, pois as suas taxas nos efluentes gerados são normais. Como o poço amostrado fica próximo ao córrego que recebe os esgotos da região, é provável que o nitrato esteja associado a dejetos orgânicos.

c) Mate Couro S.A.

Essa é a única indústria entre as 10 remanescentes mais poluidoras de Belo Horizonte relacionada à atividade de bebidas, já que industrializa o Guaraná Mate Couro.

Para o fabrico desse produto, a empresa utiliza um volume de água de 1.047 m^3/dia, que é suprido na maior parte (80%) através de 6 poços tubulares existentes em seu pátio (foto 9.7).

Na industrialização é produzida diariamente uma média de 840 m3 de efluente líquido, que é tratado em uma estação de tratamento vista na foto 9.8, todavia apenas a contaminação orgânica e a turbidez são eliminados nesse tratamento.

A contaminação orgânica do efluente é representada pela demanda de oxigênio (DBO_5 = 330 mg/L e DQO = 1.506 mg/L), porém existe ainda a presença de óleos e graxas (50 mg/L) e chumbo, que excede os limites de concentração (0,4 mg/L). Também são muito elevados o pH (11,2) e os sólidos em suspensão (245 mg/L).

Como resíduo sólido são produzidos nessa indústria apenas os seguintes:

- cacos de vidro – classe III: 600 t/ano - comercializado;
- fuligem – classe III: 219 t/ano – encaminhado para aterro público

Como as análises químicas das águas dos poços existentes não testaram os metais, embora não acusassem nenhum excesso para os íons comumente presentes nas águas subterrâneas, foi amostrado o poço visto na foto 9.7 (poço 244) especificamente para metais pesados, revelando excesso de chumbo nessa água (Pb = 0,11 mg/L), além de um ligeiro excesso de cádmio (Cd = 0,006 mg/L). Certamente o chumbo é resultante da infiltração do efluente líquido que contém esse metal em excesso.

Essa contaminação assume maior gravidade por estar sendo utilizada a água contaminada na fabricação de um refrigerante bastante consumido nessa cidade, pelo que recomendamos a SMMA, através da fiscal Luciane, que procedesse uma rigorosa fiscalização nessa indústria a fim de apurar a origem dessa contaminação e encontrar a solução que o caso urge.

d) Frigorífico Modelo

Essa indústria de enlatados de carnes possui na verdade 5 poços tubulares muito antigos, sem dados de construção ou relativos ao material perfurado.

FOTO 9.7 - Poço tubular existente na Indústria de Bebidas Mate Couro

FOTO 9.8 - Estação de tratamento da Indústria de Bebidas Mate Couro

Há, contudo, análises recentes de suas águas que não demonstram qualquer tipo de contaminação, o que já era esperado, pois a classificação dessa indústria pela FEAM como das mais poluentes relaciona-se com os seus efluentes líquidos, já que não produz resíduos sólidos (Quadro 9.17), e tais efluentes, além de produzirem predominantemente uma contaminação orgânica (elevados DBO_5 e DQO), são direcionados para a rede de esgotos.

e) Madson Eletro Metalúrgica Ltda.

Essa indústria localiza-se no distrito industrial Olhos d'Água (foto 9.4) e é responsável pela fabricação da linha de eletrodomésticos SUGAR.

Possui apenas um poço tubular, com produção muito baixa (0,83 m^3/h), sendo por isso utilizado apenas para a limpeza geral do empreendimento, que utiliza a rede de abastecimento de água da COPASA para prover seu processo industrial.

O poço existente possui uma análise físico-química recente onde não apresenta excesso de qualquer íon ou metal, mesmo aqueles que são caracterizados no efluente líquido do processo industrial (Pb e Zn no Quadro 9.17), o que é normal, já que tais efluentes são direcionados à rede de esgotos da cidade.

Quanto aos resíduos sólidos gerados, destacam-se a sucata de chapa (300 t/ano), que é vendida e as lamas de desengraxante e de fostato (30.000 t/ano), que são temporariamente armazenadas sobre superfície impermeabilizada enquanto aguarda seu transporte para o aterro sanitário da cidade.

Assim, não são esperados veículos de contaminação para as água subterrâneas nessa indústria, o que é ratificado pela análise da água do único poço existente.

9.3.6. Relação entre a contaminação industrial e a vulnerabilidade dos aqüíferos de Belo Horizonte

A figura 9.7 mostra a distribuição das 69 indústrias selecionadas para detalhamento de suas atividades em Belo Horizonte, indicadas pelos símbolos correspondentes a sua classificação final com respeito a sua capacidade potencial poluidora (classes A a E).

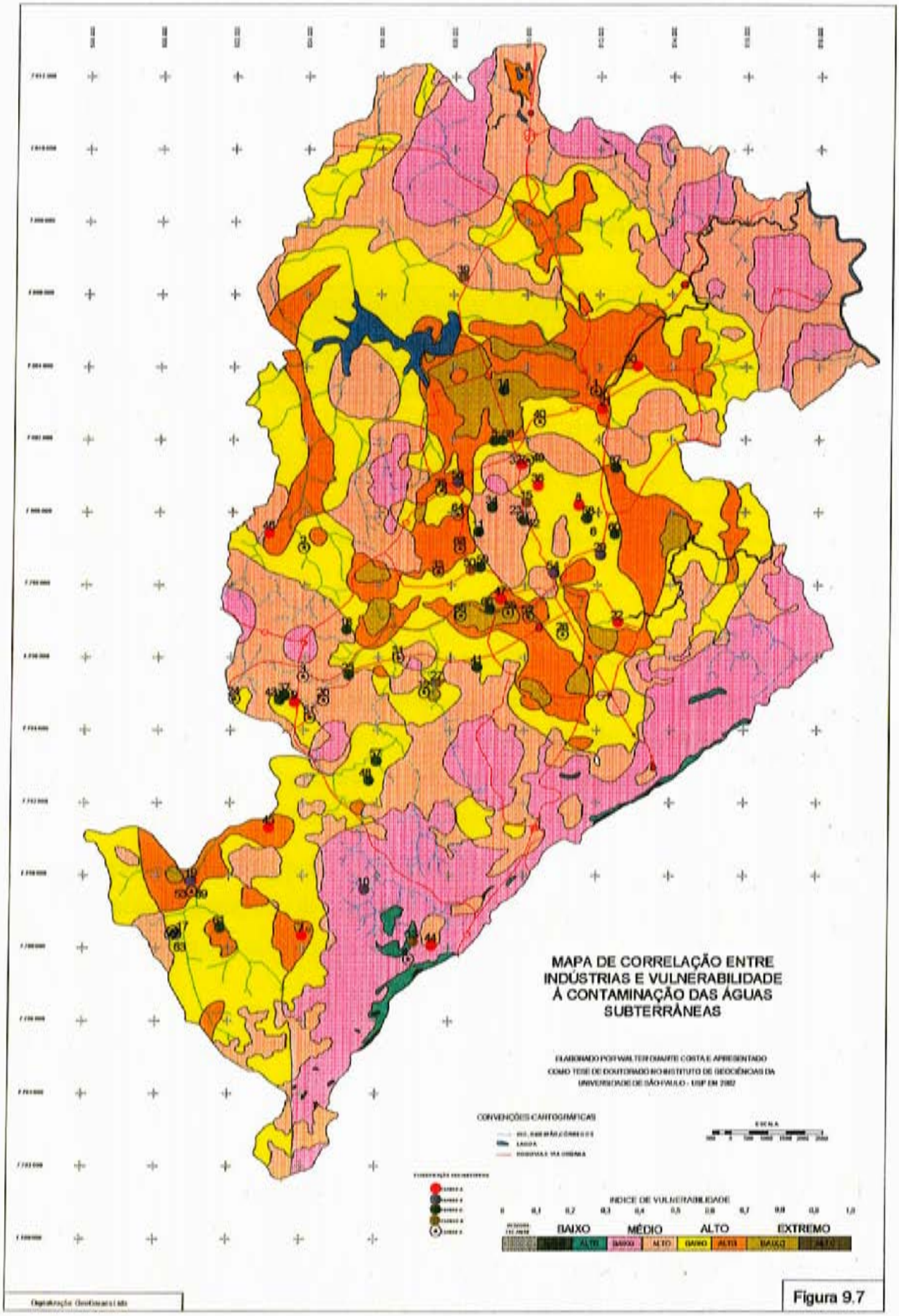

MAPA DE CORRELAÇÃO ENTRE
INDÚSTRIAS E VULNERABILIDADE
À CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS
ELABORADO POR WALTER DUARTE COSTA E APRESENTADO
COMO TESE DE DOUTORADO NO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP EM 2002
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS
ESCALA
ÍNDICE DE VULNERABILIDADE
0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1,0
BAIXO
MÉDIO
ALTO
EXTREMO

Figura 9.7

Primeiramente, nota-se que essas indústrias localizam-se preferencialmente nas regiões centro-oeste a sudeste desse município, existindo apenas uma indústria na região norte.

Com respeito à vulnerabilidade dos aqüíferos locais, podem-se estabelecer as relações definidas no Quadro 9.21.

QUADRO 9.21 - RELAÇÃO ENTRE AS INDÚSTRIAS E A VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS

CLASSE DE IND. POTEN. POLUID.	ÍNDICE DE VULNERABILIDADE												TO-TAIS
	FRACO		MÉDIO				ELEVADO				EXTREMO		
	FORTE		FRACO		FORTE		FRACO		FORTE		FRACO		
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	
A	-	-	1	8	1	8	5	38	5	38	1	8	13
B	-	-	1	17	-	-	3	50	2	33	-	-	6
C	-	-	-	-	5	25	9	45	4	20	2	10	20
D	1	20	-	-	2	40	1	20	1	20	-	-	5
E	-	-	1	4	5	20	11	44	5	20	3	12	25

Desse quadro pode-se fazer as seguintes observações: 71% de todas as 69 indústrias selecionadas localizam-se em áreas de vulnerabilidade elevada a extremamente elevada; as indústrias com potencial poluidor que impõem maior risco à contaminação das águas subterrâneas, ou seja, as classificadas como A e B, têm sua localização, em 84% dos casos, relacionada com área de vulnerabilidade elevada a extremamente elevada.

Embora a contaminação por indústria não tenha revelado um risco dos mais elevados em função dos tipos de poluentes mais presentes em seus efluentes, devem ser observadas, caso a caso, aquelas indústrias localizadas nas áreas de maior vulnerabilidade do aqüífero.

9.4. DEPÓSITOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS

9.4.1. Panorama mundial e nacional da contaminação produzida por resíduos sólidos

Como resíduo sólido é considerada toda mistura de materiais ou restos destes, oriundos dos mais diversos tipos de atividade humana, que são descartados por não apresentarem utilidade ou valor econômico.

A produção e disposição desses resíduos têm se constituído um dos maiores problemas ambientais de todo o mundo, principalmente nos países mais desenvolvidos, já que o volume de resíduos gerados é diretamente proporcional ao grau de desenvolvimento de um povo, como resultado das maiores atividades econômicas e dos hábitos de consumo decorrentes.

Assim é que, o Canadá produz 1,90 kg/hab/dia, enquanto a Índia produz apenas 0,40 kg/hab/dia (Philippi Jr, 1999). O Brasil produz, em média, 0,60 kg/hab/dia (Jardim et al, 1995), embora sejam conhecidos índices variando desde 0,40 kg/hab/dia (Novo Hamburgo) até 0,90 kg/hab/dia (Rio de Janeiro), segundo Philippi Jr (1999).

O conteúdo de matéria orgânica em um depósito de resíduo sólido é, por sua vez, inversamente proporcional ao grau de desenvolvimento de seus geradores. Assim, enquanto na Suécia e no Japão o percentual de matéria orgânica é praticamente nulo, na Índia chega a 75% e no Brasil, atinge em média 52,5 % (Galvão Junior, in Philipp Jr, 1999).

Maior problema que a geração é a disposição final dos resíduos sólidos, principalmente em função dos seguintes aspectos: forma de disposição; natureza e origem do resíduo em função de sua toxidade; volume demandado.

a) Forma de disposição

O Quadro 9.22 mostra a forma de disposição do resíduo doméstico (lixo) em várias partes do mundo, incluindo o Brasil. Nota-se que, desses 16 países, o Brasil apresenta o quadro mais trágico em termos de destinação de seu lixo doméstico, com 98% de todo o resíduo depositado sobre o solo, sendo 76% através de lixões e apenas 13% em aterro controlado.

A deposição desses resíduos em lixões e aterros não controlados (87% dos casos brasileiros) constitui um crime contra a saúde pública e contra o meio ambiente.

QUADRO 9.22 - DESTINO FINAL DO RESÍDUO DOMÉSTICO - %

PAÍS	ATERRO SANITÁRIO		INCINE-RAÇÃO	RECI-CLAGEM	COMPOS-TAGEM	SEM SERVIÇO
	CONTROL.	S/CONTR.				
Áustria	64,0	-	20,0	-	16,0	-
Canadá	95,0	-	4,0	1,0	-	-
Dinamarca	31,0	-	50,0	18,0	1,0	-
Finlândia	95,0	-	2,0	3,0	-	-
França	47,9	-	41,9	0,6	8,7	-
Alemanha	74,0	-	24,0	-	2,0	-
Itália	83,2	-	13,9	0,6	2,3	-
Japão	29,6	-	67,6	-	2,8	-
Holanda	51,0	-	34,0	15,0	-	-
Polônia	99,9	-	-	-	0,1	-
África do Sul	41,4	27,8	20,8	3,1	3,8	3,9
Suécia	35,0	-	60,0	5,0	-	-
Suíça	20,0	-	80,0	-	-	-
Grã-Bretanha	88,0	-	11,0	1,0	-	-
USA	83,0	-	6,0	11,0	-	-
BRASIL	13,0	10,0	0,1	-	0,9	76,0

Fonte: Carra et al (1990 e IPT (1994) in Hassuda (1997)

Em termos de ***saúde pública***, tal disposição propicia o aparecimento dos chamados vetores de doenças representados pelos animais (ratos, baratas, moscas e mosquitos) que, entrando em contato com o lixo, funcionam como veículo de transmissão de uma série de agentes causadores de doenças ao homem, como leptospirose, salmoneloses, peste bubônica, tifo, hepatite, malária etc. Segundo Philipp Jr (1999), aproximadamente 5,2 milhões de pessoas, incluindo 4 milhões de crianças, morrem por ano em todo o mundo por doenças relacionadas com o lixo.

Em termos de ***meio ambiente***, a disposição inadequada do lixo pode agravar a poluição do ar, das águas (superficiais e subterrâneas) e do solo, além de causar poluição visual e uma terrível agressão social, pela presença de catadores de lixo, incluindo crianças, que se misturam aos animais predadores na busca de restos de comida.

Os resíduos orgânicos, que predominam nos países mais pobres, quando depositados a céu aberto sofrem decomposição anaeróbica, que se inicia quando há falta de oxigênio na massa de lixo, o que irá originar dois produtos: os gases e o chorume. Os *gases* gerados (gás sulfídrico, metano, e mercaptano) possuem odor desagradável, sendo o metano inflamável, pelo que apresenta risco de provocar incêndios até mesmo por auto combustão. O *chorume* é um líquido de cor negra,

com alta concentração de matéria orgânica e de poluentes inorgânicos, pelo que possui elevado potencial poluente, podendo escorrer até os cursos d'água ou se infiltrarem para contaminar as águas subterrâneas.

b) Natureza e origem do resíduo

Além do resíduo doméstico, muitos outros são gerados nas mais variadas atividades produtivas exercidas pelo homem e entre tais resíduos, muitos são perigosos, apresentando sérios riscos sanitários e ambientais devido aos seus componentes químicos, tóxicos, corrosivos, inflamáveis e radioativos.

Os principais geradores de tais resíduos são os serviços de saúde, como hospitais, e as indústrias. Os primeiros porque podem conter microorganismos capazes de transmitir doenças, além de produtos químicos e radioativos manipulados na profilaxia das diversas doenças, enquanto as indústrias podem incluir muitos metais pesados e tóxicos entre seus resíduos.

Se esses resíduos são depositados junto ao lixo domiciliar são grandes as chances de ocorrerem reações químicas que aumentam a solubilização e a mobilidade desses contaminantes, formando chorumes altamente tóxicos com elevado potencial poluidor se infiltrados no solo e chegarem até às águas subterrâneas.

c) Volume demandado

A grande quantidade de resíduos sólidos produzida nas grandes cidades, como Belo Horizonte, exige grandes áreas para a sua deposição, o que nem sempre á possível nas proximidades dos grandes centros, onde a valorização do solo e as necessidades de proteção ambiental, cada vez mais exigentes, dificultam a localização dessas áreas.

9.4.2. Coleta e disposição de resíduos sólidos em Belo Horizonte

A coleta e disposição de resíduos sólidos em Belo Horizonte utilizaram-se de várias modalidades ao longo dos 100 anos de existência dessa cidade, como pode ser resumido do trabalho "Belo Horizonte" (2000).

Assim é que, em 1899, um ano após a implantação a cidade, a coleta de lixo era realizada por dois carroções com tração animal, sem horário nem itinerário determinados, sendo o lixo depositado em local afastado da cidade e incinerado a céu aberto com querosene.

Em 1914 foi construído um forno de incineração do lixo domiciliar do sistema "Horsfill", nas proximidades do Parque Municipal, sendo posteriormente afastado do centro da cidade (em 1928) e desativado completamente em 1930.

Os veículos de tração animal foram substituídos por um automotivo para a coleta de lixo em 1924, sendo a frota ampliada em 1929.

Ainda em 1929 foram construídas 100 celas de fermentação de lixo, do sistema "Baccari" (foto 9.9) nas fazendas da Gameleira, Horto e Baleia, aumentando com mais 33 celas construídas em 1955 na Várzea do Felicíssimo. Esse processo, além de evitar os problemas ambientais relacionados com os lixões, possibilitava o fornecimento do lixo fermentado aos agricultores das imediações de Belo Horizonte para ser utilizado como adubo orgânico.

Ao longo da década de 60 essas celas começaram a ser inexplicavelmente desativadas e em 1967 o lixo passou a ser depositado em uma grande voçoroca existente no Morro das Pedras, onde passou a ser chamado de "Bocão do Lixo"; a coleta contou com o reforço de uma frota de caminhões coletores e caçambas.

O lixão criado representou um retrocesso social e ambiental, pois além do aspecto visual deprimente, possibilitou a convivência de mais de 300 pessoas que construíram seus barracos em pleno lixão para facilitar a catação de detritos em condições subhumanas (foto 9.10).

Depois de inúmeros acidentes ocorridos nesse lixão envolvendo a morte de muitos de seus moradores, conforme será descrito no item 9.4.4.1., esse lixão foi desativado, sendo implantado o Aterro Sanitário da BR-040, que passou a funcionar a partir de 1975 e perdura até os dias atuais.

A coleta melhorou bastante a partir de 1977, quando 25 caminhões compactadores substituíram os veículos convencionais com carroceria de madeira. Atualmente a coleta é feita por inúmeras empresas terceirizadas, que utilizam grandes caminhões como visto na foto 6.13.

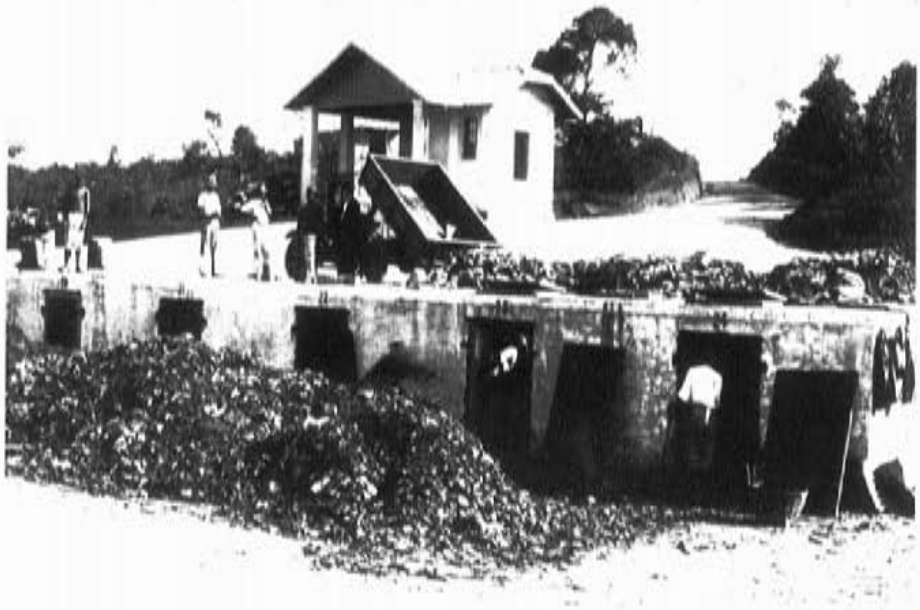


FOTO 9.9 - Antigas células de deposição e incineração do lixo no sistema Baccari (foto da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte de 1960)

FOTO 9.10 - Lançamento do lixo no antigo lixão do Morro das Pedras, mostrando a presença humana convivendo com a podridão e a falta de higiene (foto da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte de 1968).

9.4.3. Controle ambiental

No § 1º do Art. 2º da Lei nº 7.277/97, que instituiu a Licença Ambiental, são considerados empreendimentos de impacto:

I --------

II ------

III -------

IV -------

V - os seguintes empreendimentos e os similares:

a) aterros sanitários e usinas de reciclagem de resíduos sólidos

b) -----

c) -----

etc

Apesar de previsto em lei, nunca foram regulamentados o licenciamento e o controle ambiental do aterro sanitário existente desde 1975 (22 anos antes da lei).

Da mesma forma que a Manesman fugiu ao controle da SMMA, passando ao controle ambiental da FEAM, também o aterro sanitário foi licenciado pela FEAM, embora nenhum controle ou monitoramento ambiental tenha sido exercido por esse órgão após a liberação dessa licença.

9.4.4. Pesquisas realizadas

Conforme acima citado, Belo Horizonte não contou com uma grande diversidade de locais para disposição de seus resíduos sólidos.

Excetuando algumas experiências em células fechadas, que pelo seu volume acumulado e condições de deposição (ambientes fechados e impermeabilizados) não chegaram a impor riscos ambientais, apenas um antigo lixão pode ser considerado como fonte de contaminação, iniciada na época de utilização e prolongada por algum tempo após sua desativação.

Assim, a atual pesquisa ateve-se a três pontos: antigo lixão, pequenos lixões clandestinos atuais; e aterro sanitário.

9.4.4.1. Antigo Lixão

O antigo lixão foi utilizado no período de 1967 a 1971 e era localizado no Morro das Pedras, hoje ocupado por uma favela com o mesmo nome.

Esse lixão ocupava uma antiga voçoroca inicialmente desabitada. À medida que o lixo era depositado, iam surgindo construções no seu interior que abrigavam os catadores de lixo, como relatado em 9.4.2. e ilustrado na foto 9.10.

Em 18.11.71, ocorreu um grande deslizamento nesse lixão em conseqüência de uma chuva torrencial e da falta de compactação do material depositado, resultando no soterramento de vários barracos e na morte de quase duas dezenas de seus moradores.

Fenômenos de explosões espontâneas em função da geração de gás metano pela decomposição do lixo orgânico foram também responsáveis por incêndios e mortes ocorridas nos anos de 1969 e 1971.

Em novembro de 1972 houve novo desabamento nesse lixão, matando mais quatro pessoas.

Todos esses acidentes deixaram uma camada de lixo espalhada ao longo da antiga voçoroca, com espessura que ultrapassa os 20 m em alguns locais, como pôde ser detectado pela geofísica e sondagens aí realizadas, sendo de 288.000 m^3 o volume total de lixo aí acumulado.

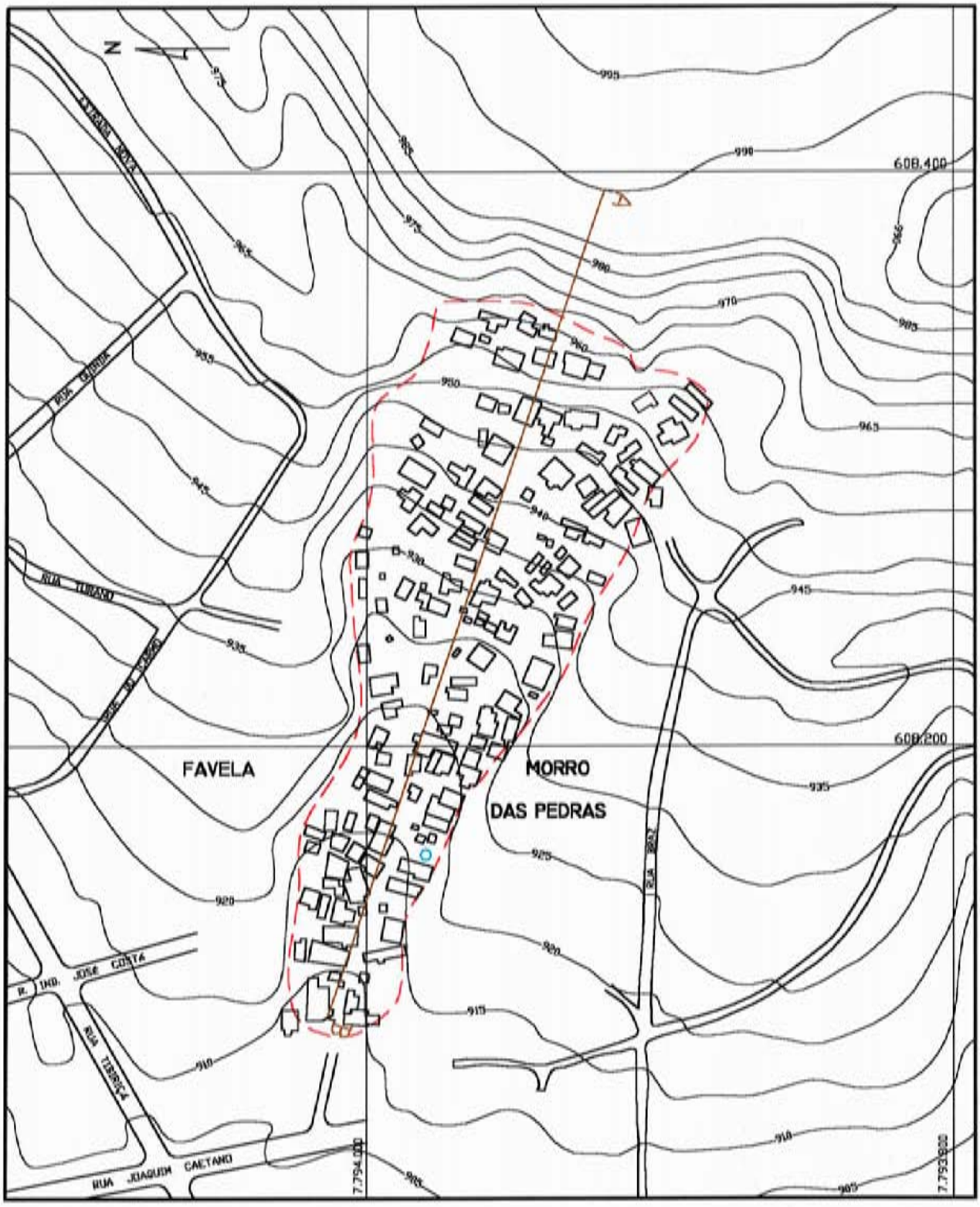
Desativado o lixão em 1972, foi incrementada a ocupação humana sobre esses depósitos, através da construção de cerca de 150 casas, como visto na figura 9.8. Somente em 1976 o governo municipal pôde desocupar definitivamente esse local e aí implantar uma praça de esportes.

As fotos 9.11 e 9.12 mostram a atual situação desse local, onde foi construída pela prefeitura de Belo Horizonte uma área de lazer. Notam-se os tubos verticalizados construídos para escapamento dos gazes formados pela decomposição química dos resíduos orgânicos.

Nesse local foi realizada uma pesquisa sobre a eventual contaminação ainda existente com relação às águas subterrâneas, constando de prospecção geofísica, sondagem para coleta de água e análises físico-químicas e bacteriológicas da água amostrada.

a) Geofísica

A foto 9.13 mostra a fase de campo da prospecção geofísica, utilizando o método GPR (ground penetration radar), com auxílio do professor Paulo Roberto Aranha da UFMG.



ESCALA : 1.2000

LEGENDA

- LIMITE DA ÁREA AFETADA PELO DESLIZAMENTO
- CASAS CONSTRUÍDAS SOBRE O LIXÃO DESLIZADO
- SONDAGEM REALIZADA

FIGURA 9.8

DESLIZAMENTO DE UM ANTIGO LIXÃO NO MORRO DAS PEDRAS

FOTO 9.11 - Área do antigo lixão do Morro das Pedras que é visto ao fundo. Em primeiro plano, a pista do "cooper" construída na área de lazer implantada nesse local

FOTO 12 - Outra vista do antigo lixão da foto anterior, vendo-se o campo de futebol construído sobre um corte no depósito de lixo.

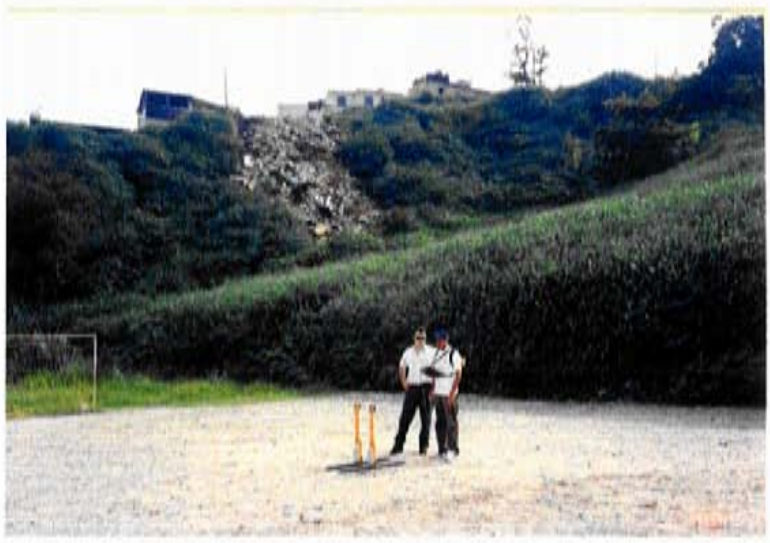


FOTO 9.13 - Geofísica pelo método GPR executada sobre o antigo lixão das fotos acima. Ao fundo observam-se depósitos recentes de lixo à meia encosta.

Esse levantamento visou detectar a espessura do lixo acumulado pelo deslizamento e a possível localização do nível freático. Todavia, a grande heterogeneidade desse depósito, que continha corpos de natureza e tamanho muito variados imersos em sua massa, dificultou a interpretação dos resultados. Ainda assim, pôde ser feita uma integração entre seus resultados e as sondagens realizadas naquele sítio na época do deslizamento, resultando na seção longitudinal indicada na figura 9.8 e apresentada na figura 9.9.

Nessa figura pode ser observado que a espessura do depósito de lixo varia desde 4 m, na parte mais baixa desse vale, até 20 m, no trecho em que houve maior acúmulo pelo efeito do deslizamento (onde existe hoje um campo de futebol).

Ainda nessa seção constata-se que o nível freático encontra-se no solo residual, porém à pouca profundidade (2 a 3 m abaixo da base do lixo), o que certamente favorece a contaminação das águas subterrâneas pela infiltração do chorume produzido nesse lixo.

b) Sondagem

Foi executada uma sondagem no local indicado na figura 9.8, mostrada na foto 4.2., que atingiu 16,0 m, tendo encontrado o nível freático a 8,70 m. Além do teste de condutividade hidráulica realizado, que acusou um valor de $K = 2{,}23 \times 10^{-4}$ cm/s (método de "slug test"), foi instalado nesse local um poço de monitoramento como mostrado na foto 4.3., que recebeu o número ST-2 e é visto na figura 4.1. Nesse poço foram coletadas amostras de água para análises físico-químicas e bacteriológicas.

c) Resultados das análises realizadas

Foi executada uma análise físico-química completa para potabilidade, incluindo os metais pesados e tóxicos, além de uma análise bacteriológica.

A análise físico-química revelou os seguintes parâmetros em excesso:

Turbidez:	30,00 NTU
Condutividade elétrica:	2.010,00 µS/cm
Sólidos dissolvidos:	1.255,00 mg/L
Alumínio:	0,73 mg/L
Bário:	1,57 mg/L
Ferro:	2,37 mg/L
Manganês:	1,26 mg/L

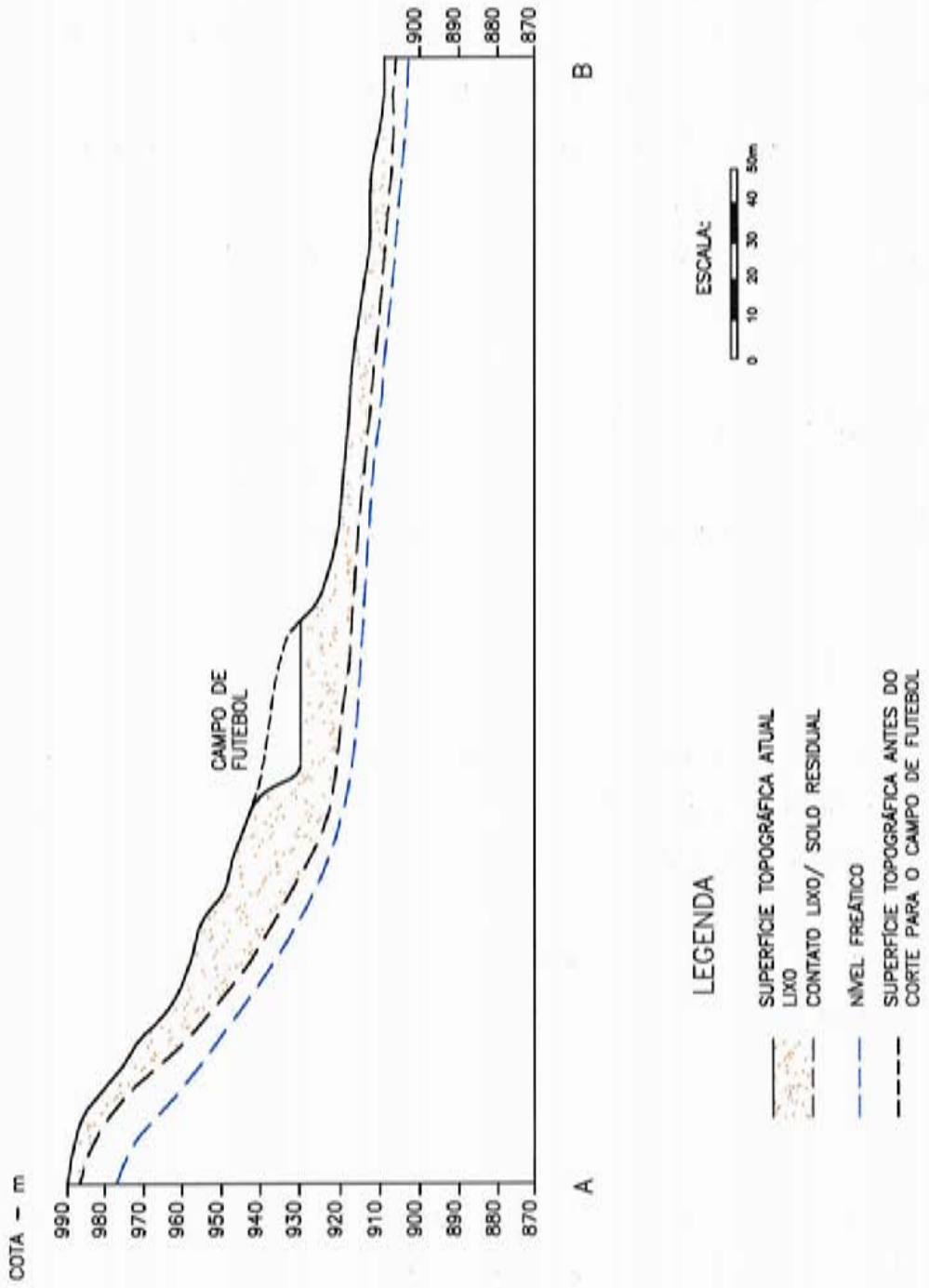


FIGURA 9.9

ANTIGO LIXÃO DO MORRO DAS PEDRAS
SEÇÃO LONGITUDINAL

Níquel:	0,12 mg/L
Chumbo:	0,07 mg/L

O resultado do nitrato foi baixo (<0,05 mg/L) e não foi registrada a presença de coliformes fecais, estreptococus fecais nem qualquer bactéria patogênica.

Nota-se por esses resultados que, embora não tenha sido constatada contaminação orgânica, há ainda indícios de contaminação da água subterrânea por metais, 30 anos após ter sido desativado esse lixão e numa área que apenas recebeu parte do resíduo sólido desligado do depósito original.

9.4.4.2. Pequenos lixões clandestinos

Apesar da coleta sistemática de lixo realizada pela prefeitura de Belo Horizonte em todo o município, não deixa de existir na periferia da cidade, onde nem sempre essa coleta é diária, acúmulo de resíduos domésticos ao longo de encostas, na forma de pequenos lixões clandestinos, como mostrado na foto 9.13.

Pela reduzida extensão dessas ocorrências e da espessura desses depósitos, resumem-se em um impacto visual os danos ambientais dessa má prática sanitária, pelo que não pesquisamos os seus efeitos na contaminação das águas subterrâneas.

9.4.4.3. Aterro Sanitário

Todo o lixo coletado por caminhões na cidade de Belo Horizonte, numa média diária de 4.500 ton, é encaminhado ao aterro sanitário situado na saída dessa cidade pela BR-040 em direção à Brasília, conforme mostrado no mapa da figura 9.10.

Dessa quantidade, apenas 2% é encaminhada à usina de compostagem existente dentro da área do aterro, como mostrado na foto 9.14.

O restante é depositado em camadas (foto 6.13) alternadas com material terroso compactado, formando, ao final, um depósito tabular (foto 6.12.) com taludes que serão posteriormente revegetados para eliminar qualquer impacto visual após concluído.

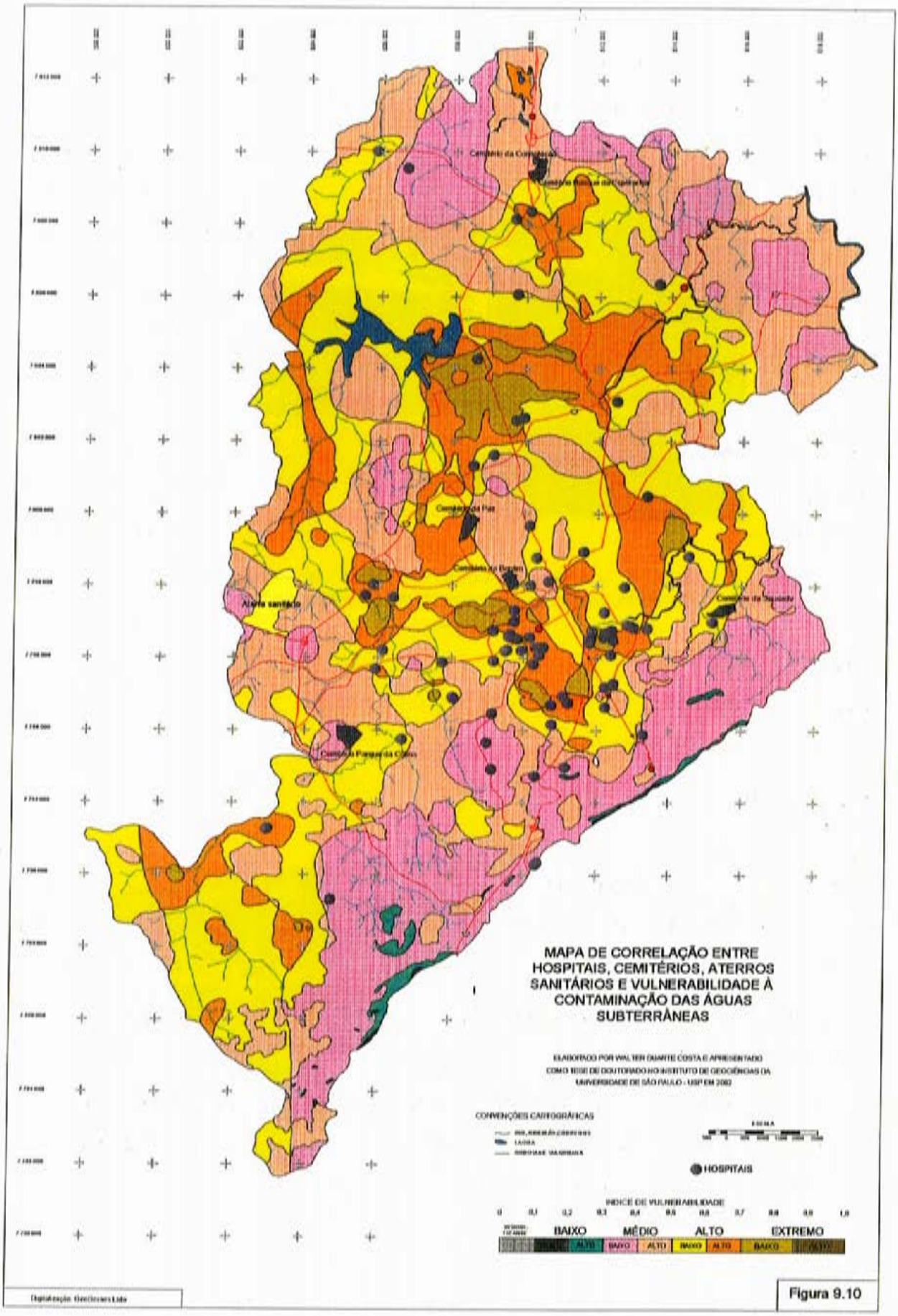

MAPA DE CORRELAÇÃO ENTRE HOSPITAIS, CEMITÉRIOS, ATERROS SANITÁRIOS E VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
ELABORADO POR WALTER DUARTE COSTA E APRESENTADO COMO TESE DE DOUTORADO NO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP EM 2002
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS
HOSPITAIS
ÍNDICE DE VULNERABILIDADE
0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1,0
BAIXO
MÉDIO
ALTO
EXTREMO
Aterro sanitário

Figura 9.10

FOTO 9.14 - Usina de compostagem do lixo instalado no Aterro Sanitário, vendo-se em primeiro plano, pilhas do lixo já tratado.

FOTO 9.15 - Saída do chorume do aterro sanitário, que é direcionado "In natura" através de canais até as cabeceiras da drenagem local.

Esse aterro apresenta, todavia, dois problemas que podem contribuir para o agravamento do risco que geralmente apresentam os depósitos de resíduos sólidos para a contaminação das águas superficiais e subterrâneas: em primeiro lugar, recebe resíduos sólidos das mais diversas origens, misturando no mesmo depósito resíduos domésticos com os provenientes de indústrias e hospitais; em segundo lugar, seu efluente líquido, ou chorume, não recebe qualquer tipo de tratamento, sendo canalizado "in natura", como observado na foto 9.15, e direcionado para a rede de drenagem natural, descarregando toda a carga contaminante nas cabeceiras do Córrego Ressaca, que deságua na Lagoa da Pampulha. Evidentemente, grande parte desse chorume se infiltra no trecho mais elevado desse córrego, que, por ser temporário, oferece boas condições de infiltração em suas cabeceiras na maior parte do período mais seco do ano. A infiltração desse chorume poderá contaminar o aqüífero ao longo de todo o curso do Córrego Ressaca.

O Quadro 9.23 apresenta os resultados obtidos em 8 análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas em diferentes épocas dos anos 2000 e 2001 no chorume desse aterro hidráulico.

Pode-se observar que, em princípio, esse chorume acha-se bastante salinizado, com uma condutividade elétrica média de 23.762 μmhos/cm; sólidos dissolvidos médios de 8.835 mg/L; dureza total média de 1.026 $mgCaCO_3$; cloretos com média de 3.800 mg/L; e sulfetos com média de 14,28 mg/L (mais de 7.000 vezes o limite legal).

A contaminação orgânica acha-se também bastante elevada, acusando um DBO_5 médio de 924 mgO_2/L, DQO médio de 4.650 mgO_2/L e oxigênio dissolvido < 0,1 mgO_2/L.

A contaminação bacteriológica é elevadíssima, com altas taxas de coliformes fecais e de estreptococus fecais.

Finalmente, observa-se a quantidade muito elevada de muitos metais pesados e/ou tóxicos, como: *cádmio* (em média 20 vezes mais que o limite); *chumbo* (em média 6 vezes mais que o limite); *ferro* (em média 18 vezes mais que o limite); e *níquel* (em média 10 vezes mais que o limite).

Em resumo, o chorume desse aterro sanitário acha-se altamente poluído, como é praxe de todos os chorumes, e está pondo em risco a qualidade das águas superficiais e subterrâneas das imediações do aterro sanitário, por ser lançado "in natura" nas cabeceiras da rede de drenagem local.

QUADRO 9.23 - ANÁLISES DO CHORUME DO ATERRO SANITÁRIO

PARÂMETROS	UNIDADE	LIMITE LEG. *	DATA DA ANÁLISE							
			-	-	-	28.8.00	-	22.5.01	20.6.01	-
Temperatura	°C	-	39,5	37,0	-	36,5	34,4	-	-	-
pH	-	-	7,74	7,75	-	7,20	7,14	7,15	7,18	7,2
Alcalinidade	mg/L	-	-	6630	-	7610	5812	-	-	-
Ácidos voláteis	mg/L	-	450	435	495	615	480	945	4130	302
Alumínio total	mg Al/L	0,1	<0,05	0,05	0,24	0,01	0,42	1,3	1,7	0,06
Amônia n/ionizável	mg N-NH_3/L	0,02	0,09	9,79	2,49	15,4	24,5	31	124	6,9
Arsênio total	mg As/L	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Bário total	mg Ba/L	1,0	0,091	0,103	0,174	0,176	0,51	0,34	0,26	0,27
Berilo total	mg Be/L	0,1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,1	<0,001	<0,001	0,003
Cádmio total	mg Cd/L	0,001	0,005	0,003	0,025	0,02	0,02	0,015	0,031	0,035
Chumbo total	mg Pb/L	0,03	0,09	0,60	0,20	0,08	0,10	0,08	0,15	0,12
Cloretos	mg Cl/L	250	3107,0	2935,3	2546,0	3435,0	3705,0	3858,0	5716,0	5168,0
Cobalto total	mg Co/L	0,2	0,06	0,03	0,20	0,31	0,24	0,19	0,21	0,31
Cobre total	mg Cu/L	0,02	0,02	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,01	0,03	0,02
Condutiv. elétrica	s/cm	-	21300	20900	20300	23200	22800	26600	27500	27500
Cor	mgK_2PtCl_6/L	75	1730	1660	1550	350	1850	1140	2270	1910
Cromo hexavalente	mg Cr/L	0,05	<0,01	<0,01	0,06	0,05	0,08	0,01	0,02	0,06
Cromo trivalente	mg Cr/L	0,5	0,13	0,07	0,02	0,05	0,04	0,06	0,03	<0,01
DBO	mg O_2/L	60	1280	850	1454	436,3	160	588	1598,5	1026
DQO	mg O_2/L	90	4490	4990	5330	3630	4570	3240	6490	4470
Dureza de cálcio	mg $CaCO_3$/L	-	310	206,2	-	-	241	472	504,9	233
Dureza de magnésio	mg $CaCO_3$/L	-	580	494,9	-	-	524	1108	524,3	1243
Dureza total	mg $CaCO_3$/L	500**	890	701,1	721,7	1051	765	1579	1029,2	1476
Estanho total	mg Sn/L	0,001	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	0,71	<0,5	<0,5	<0,5
Ferro total	mg Fé/L	0,3**	3,30	4,30	4,42	2,9	5,8	6,9	10	5,4
Fósforo total	mg/L	-	4,37	8,9	10,40	9,50	5,5	7,2	7,4	8,7
Lítio total	mg Li/L	2,5	<0,02	<0,02	0,02	<0,01	0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Magnésio total	mg Mg/L	-	140,9	120,3	125,3	155,3	127	232	188	419
Manganês total	mg Mn/L	0,1	6,10	<0,01	0,30	0,38	0,38	0,27	0,48	0,23
Mercúrio total	mg Hg/L	0,0002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Níquel total	mg Ni/L	0,025	0,13	0,07	0,3	0,3	0,32	0,32	0,27	0,36
Nitratos	mg N-NO_3/L	10	28,5	2,31	6,40	6,40	7,90	2,9	5,49	2,6
Nirogênio amoniac.	mg n-NH_3/L	-	8,4	217	202	840	1720	1700	1660	343
Nitrogênio total	mg N/L	-	43,2	1590	1757	1665	1766	3749	3691	2097
Oxigênio dissolvido	mg O_2/L	>5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Potencial redox– Eh	mV	-	51	221	-19	-41	-39	-371	0,1	-223
Prata total	mg Ag/L	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	-342	0,01
Sólidos dissolvidos	mg/L	500	8293	8292	8572	8680	7183	9668	10768	9225
Sólidos sediment.	mL/L	-	<0,1	0,1	0,3	<0,1	<0,1	0,3	0,3	<0,1
Sólidos suspensos	mg/L	-	10928	204	320	453	1457	854	1022	772
Sólidos totais	mg/L	-	19221	8496	8892	9133	8670	10522	11790	9997
Sulfatos	mg SO_4/L	250	27,3	14,1	150,5	278	236,7	187,4	383,4	43,7
Sulfetos	mg S/L	0,002	0,002	<0,002	0,044	<0,002	32	21	25	36,2
Turbidez	U.N.T.	100	410	390	430	400	380	480	970	32
Vanádio total	mg V/L	0,1	0,06	0,03	0,04	0,04	<0,1	0,06	0,06	0,1
Zinco total	mg Zn/L	0,18	0,2	0,1	0,11	0,14	0,13	0,19	0,66	0,26
Coliformes fecais	NMP/mL	0	>1600	≥1600	400	13000	110	≥16000	≥16000	>110
Coliformes totais	NMP/mL	0	>1600	≥1600	≥1600	160000	200	≥1600	≥1600	160000
Estreptococus fecais	NMP/mL	0	>1600	≥1600	≥1600	30000	200	3500	≥1600	160000

* Delib.Norm. COPAM nº10 (16.12.86) – Águas classe 2; ** Port.M.S. 1469 (02.01.01); Em vermelho: valor que excedeu o limite

9.5. CEMITÉRIOS

9.5.1. O problema da contaminação por cemitério

A contaminação das águas subterrâneas provocada por cemitérios tem se constituído um problema em várias partes do mundo, sendo as primeiras pesquisas realizadas sobre o assunto desenvolvidas na França, no final da década de 70 (ABAS Informa, 111), quando higienistas constataram que a febre tifóide que grassava em algumas comunidades interioranas guardavam estreita relação com a posição dos cemitérios dessas localidades em relação à fonte de abastecimento d'água local. São ainda conhecidos casos de contaminação por cemitérios em Berlim, Paris e, principalmente, na África do Sul, que enfrenta um grave problema epidemiológico relacionado a infiltrações nos cemitérios que atingem o freático (ABAS Informa op cit.).

No Brasil certamente o problema é muito grande, pois muito pouco se tem pesquisado em função de sua extensão territorial. Algumas pesquisas são conhecidas nas cidades de São Paulo, Santos (SP), Fortaleza (CE), Belém (PA) e no Estado do Paraná, porém isso representa apenas um estágio inicial desse importante ramo de investigações no campo da contaminação das águas subterrâneas.

Os primeiros trabalhos sobre esse assunto no Brasil foram desenvolvidos por Pacheco (1980), com um estudo sobre o cemitério de Vila Formosa, na cidade de São Paulo. Posteriormente, surgiram outros estudos do mesmo autor, através da linha de pesquisa "Cemitérios e Meio Ambiente" criada no Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas – CEPA – da USP-SP. Entre os trabalhos que se sucederam são citados em ABAS INFORMA nº 111 os seguintes: "Ocorrência de Microorganismos no aqüífero freático do Cemitério Vila Nova Cachoeirinha, São Paulo", dos pesquisadores Bolívar Matos e Alberto Pacheco; "Cemitérios como fonte de poluição em aqüíferos", de Renato Blat Migliorini; "Contaminação de aqüíferos por instalação de cemitérios e estudo de caso do Cemitério São João Batista, Fortaleza", da geóloga Alice Marinho; e "Adequabilidade de Áreas para Instalação de Cemitérios" do geólogo Sebastião Miotto.

9.5.2. Tipos de cemitérios e o processo de contaminação

Na cidade de Belo Horizonte existem seis cemitérios que podem ser vistos no mapa da figura 9.10

Os cemitérios Bosque da Boa Esperança, Consolação, Parque da Colina e da Paz possuem unicamente o sistema de *inumação*, através do qual os caixões são enterrados em covas abertas em um amplo parque com plantação de gramíneas, como os cemitérios Parque da Colina (foto 9.16), Consolação e Bosque da Boa Esperança, ou sem plantação, como no Cemitério da Paz (foto 9.17).

Nesse sistema são depositados dois ataúdes, um sobre o outro, separados por uma delgada laje de concreto pré-fabricado, como visto na foto 9.16.

O fundo da cova inferior pode ser forrado por uma laje de concreto, como no cemitério Parque da Colina (foto 9.16) ou ser constituído pelo solo natural, como visto no cemitério da Paz (foto 9.17).

Os cemitérios do Bomfim e da Saudade possuem os dois sistemas de sepultamento, seja por inumação, como já citado, ou por *entumulação*, quando os caixões são colocados em prateleiras de concreto (foto 9.21). Nesse último, a entumulação é realizada apenas com os ossos que são retirados das sepulturas após um certo período de tempo e encaixotados nas prateleiras vistas na foto 9.18.

O cemitério do Bomfim, um dos mais antigos da cidade, possui grandes mausoléus em todos os túmulos (foto 9.20), sendo asfaltados todos os acessos às sepulturas, pelo que, torna-se minimizada a possibilidade de infiltração das águas pluviais, mesmo ao longo das sepulturas enterradas pelo processo de inumação, o que não acontece com os demais cemitérios, onde as águas pluviais possuem caminho livre para se infiltrarem até mesmo diretamente sobre a cova.

Também a topografia é um fator que favorece a infiltração das águas pluviais na maioria desses cemitérios, já que predominam as declividades fracas a médias.

As águas assim infiltradas percolam ao longo da zona vadosa do subsolo, entrando em contato direto com os ataúdes enterrados e com os corpos neles existentes, acelerando a sua decomposição.

Nesse contato as águas recebem um grande e diversificado volume de contaminantes, que basicamente têm três origens: reações químicas com a cal que reveste as sepulturas, provocando

FOTO 9.16 - Cova aberta no Cemitério Parque da Colina, já preparada para receber um ataúde

FOTO 9.17 - Covas em construção no Cemitério da Paz, faltando apenas a calação das paredes.

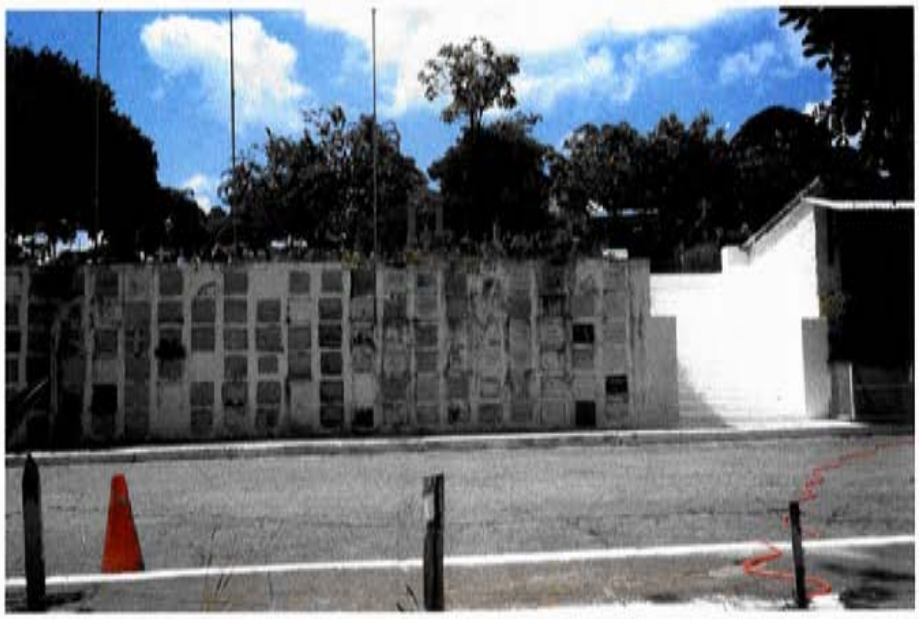


FOTO 9.18 - Sistema de entumulação para os ossos existente no Cemitério da Saudade

FOTO 9.19 - Túmulos do Cemitério da Saudade que dificultam o contato das águas infiltradas com os corpos e ataúdes enterrados.

FOTO 9.20 - Cemitério do Bombim, observando-se a majestosidade dos mausoléus e a impermeabilização dos acessos, que obstaculam a infiltração das águas pluviais.

FOTO 9.21 - Sistema de entumulação no Cemitério do Bomfim, onde os ataúdes são depositados em prateleiras de concreto abaixo do nível do solo.

o enriquecimento de carbonato de cálcio; reações químicas com os vernizes e guarnições dos ataúdes, onde são incorporados inúmeros metais pesados e tóxicos; degradação orgânica dos cadáveres, resultando no aporte de amônia, nitrito e nitrato, além de vírus e bactérias, muitos dos quais patogênicos.

Resulta uma solução geralmente de cor cinza escura, denominada ***necrochorume*** por analogia ao chorume proveniente dos depósitos de resíduos sólidos.

A percolação dessa solução pode formar plumas horizontalizadas, quando atingida uma camada impermeável do solo, a exemplo do processo explicado para a infiltração dos derivados de petróleo, mas predomina o movimento descendente verticalizado, até atingir o topo do aqüífero.

Como predominam nesse necrochorume substâncias solúveis e miscíveis em água, vai formar uma pluma de contaminação que se propaga não somente segundo a direção do fluxo do aqüífero, mas também em profundidade, aumentando a possibilidade de ser captada pelo bombeamento de poços tubulares localizados nas proximidades do cemitério.

Nenhum cemitério dessa cidade possui crematório, sendo apenas transferidos os cadáveres depois de um certo tempo, nos cemitérios da Paz e da Saudade, para um ossuário existente no próprio cemitério, onde prossegue o processo de decomposição e geração de necrochorume que vai se infiltrar no subsolo para contaminar os aqüíferos locais.

Apenas no sistema de entumulação há menor possibilidade de formação de necrochorume por ser menor a carga hidráulica representada pela eventual infiltração de águas pluviais, o que não significa que não ocorra a formação desses solutos e que estes venham a percolar até o aqüífero.

9.5.3. Controle Ambiental

Um dos maiores problemas ambientais com relação à contaminação das águas subterrâneas por cemitérios no Brasil é a falta de controle dessas áreas pelo órgão competente, simplesmente porque não existe na grande maioria dos estados brasileiros, qualquer legislação específica sobre esse assunto.

Apenas no Estado do Paraná existe uma obrigatoriedade de monitoração ambiental pelo empreendedor responsável pelo cemitério, seja público ou particular, com atribuições específicas do órgão ambiental para punir os infratores da legislação.

O Ceará está revisando a sua legislação sanitária, inserindo a necessidade de realização de estudos ambientais para implantação de novos cemitérios, bem como a monitorização dos cemitérios já existentes. Igual procedimento foi adotado na cidade de Belém, que introduziu alterações em seu Código Sanitário com a inclusão de investigações e monitoramento nos cemitérios dessa cidade.

Em Belo Horizonte a situação não é diferente. A Lei nº 7.277/97, já mencionada nos itens anteriores, inclui entre os empreendimentos de impacto (Art. 2º, § 1º, Vc) os cemitérios e os necrotérios. Ocorre que nunca foi regulamentada a aplicação dessa lei para os cemitérios, como o foi para as indústrias (DN 25/99) e para os postos de combustíveis (DN 32/00).

A Portaria nº 01/2001 de 26.12.01 da Secretaria Municipal da Saúde, dispõe sobre Norma Técnica Especial que disciplina a instalação e o funcionamento de Agências Funerárias, Velórios, Necrotérios, Salas de Necropsia, Salas de Anatomia Patalógica, Cemitérios, Crematórios e demais estabelecimentos congêneres instalados no município de Belo Horizonte.

A Seção IV dessa portaria, que se refere especificamente a Cemitérios, trata da instalação de novos cemitérios e, ainda assim, com uma única ressalva quanto à eventual contaminação das águas subterrâneas, quando proíbe a construção de cemitérios em áreas em que o freático esteja a menos de 2,0 m de profundidade.

Não há qualquer regulamentação relacionada com os cemitérios já existentes, pelo que inexiste qualquer controle ou monitoramento pelos órgãos ambientais sobre as possibilidades de contaminação dos aqüíferos pelos cemitérios atualmente em atividade.

9.5.4. Pesquisa realizada

Para se ter uma primeira idéia sobre a situação dos seis cemitérios existentes, foi feito um levantamento de suas condições de instalação, através do preenchimento de um formulário elaborado pelo autor e que se acha reproduzido no Quadro 9.24.

A análise desses dados permitiu selecionar os cemitérios Parque da Colina, da Paz e da Saudade para a pesquisa sobre contaminação das águas subterrâneas, em função dos seguintes motivos:

- O cemitério da Paz além de ser um dos mais antigos, é o que oferece melhores condições para infiltração das águas pluviais, em função de sua declividade e escassez de obstaculação a essas águas;

QUADRO 9.24 - FORMULÁRIO DE CARACTERIZAÇÃO PARA CEMITÉRIOS

1 - Identificação

Nome: _____

Proprietário: _____ Gerente: _____

Endereço: _____ Bairro: _____ CEP _____

Telefone: _____ Fax: _____ Caixa Postal: _____ E-mail: _____

2 - Características

Tipo de túmulo: ☐ Cova não revestida ☐ Cova revestida lateralmente ☐ Prateleiras de cimento
☐ Material incinerado ☐ Outro: especificar: _____

Início das atividades: ___/___/___ Área total: _____m^2 Área útil: _____m^2

Nº de empregados: na administração: _____ nos serviços funerários _____

Topografia do terreno: ☐ plana (decliv. < 5%) ☐ moderada (decliv. entre 5 e 50%) ☐ inclinada (decliv. > 50%)

Condições de cobertura: ☐ cimentado ☐ revestimento com grama ☐ sem revestimento

Tipo de solo local: ☐ arenoso ☐ areno-siltoso ☐ areno-argiloso ☐ silto-argiloso ☐ argiloso

Drenagem do acesso interno: É revestido? ☐ sim ☐ não Possui galeria pluvial? ☐ sim ☐ não

Distância do corpo de água superficial mais próximo (m): ☐ < 100 ☐ 100 a 500 ☐ > 500

Distância do poço tubular mais próximo: _____m Utilização do poço: _____

3 - Utilização da água

Fonte de abastecimento: ☐ Rede pública ☐ Poço tubular ☐ Outro: especificar _____

Distribuição interna: Nº de torneiras na área administrativa: _____ Nº de chuveiros: _____ Nº de pias e lavatórios _____

Área de covas e de jardins: Uma torneira para cada _____m^2

Consumo médio total: _____m^3/mês

4 - Saneamento básico

Geração de resíduos líquidos: ☐ Sanitários ☐ Chuveiros ☐ Pias e lavatórios

Destino dos resíduos: ☐ Rede de esgotos ☐ Fossa séptica ☐ Sistema de tratamento
☐ Corpos d'água superficiais: especificar: _____

5 - Informações Complementares

6 - Fonte de Informações

Informante: _____ Cargo: _____ Pesquisador: _____

- O cemitério Parque da Colina é o mais antigo entre aqueles mais modernos, caracterizados pelo predomínio de áreas verdes, lagos e boa infra-estrutura;
- O Cemitério da Saudade, além de muito antigo, incorpora os dois tipos de sepultamento e apresenta condições regulares para infiltração de águas pluviais;
- Os cemitérios Bosque da Boa Esperança e da Consolação são muito novos e modernos, sendo pouco provável que já tenham oferecido condições de contaminação das águas subterrâneas, pelo que não foram pesquisados;
- O cemitério do Bomfim, apesar de muito antigo, é o que apresenta maior dificuldade para a infiltração das águas pluviais por dois motivos: situando-se no cume de um morro, as águas superficiais se escoam rapidamente em várias direções; a construção de mausoléus imponentes (foto 9.20) e a impermeabilização dos acessos representam uma grande obstaculação à infiltração.

A pesquisa nos três cemitérios assim selecionados obedeceu à sistemática a seguir descrita:

a) Cemitério da Paz

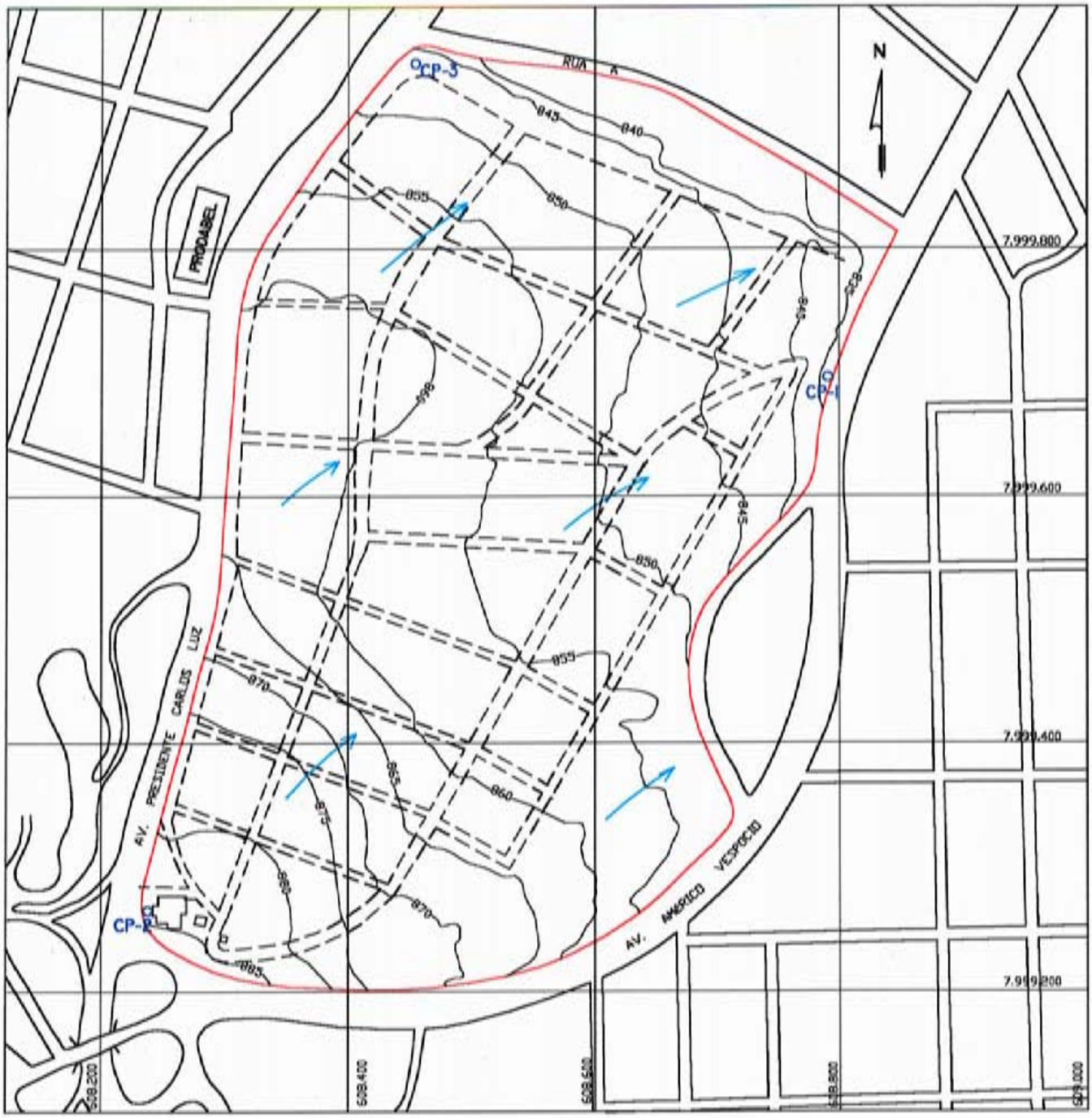
Esse foi o cemitério melhor pesquisado pelas facilidades oferecidas pelos seus administradores e pelas características inerentes a esse local.

O cemitério possui uma área de 225.000 m^2 (segundo em extensão dessa cidade), com um relevo moderado, onde as declividades variam entre 5 % e 14 %, e uniformemente inclinado na direção de SW para NE, como mostrado no mapa da figura 9.11.

Ao longo das quadras para sepultamento existe uma vegetação escassa de gramíneas, o que facilita a infiltração das águas pluviais.

O solo é resultante da decomposição química de ganisses (Complexo Belo Horizonte), sendo constituído predominantemente por materiais areno-argilosos, com intercalações arenosas e argilosas.

A pesquisa contou inicialmente com a execução de uma sondagem localizada no ponto de jusante e na convergência da maior parte do fluxo superficial e, conseqüentemente, das águas subterrâneas, conforme mostrado na figura 9.11 pela sigla CP-1. Essa sondagem, vista na foto 4.1, atingiu a profundidade de 5,64 m, encontrando o nível do freático a 3,45 m e acha-se localizada no mapa da figura 4.1, pela sigla ST-1.



LIMITE DO CEMITÉRIO

CP - 1 POÇO DE MONITORAMENTO

FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

ESCALA

50 0 50 100 150M

FIGURA 9.11

CEMITÉRIO DA PAZ

Nessa sondagem foi instalado um poço de monitoramento onde foi realizado um teste de condutividade hidráulica (foto 4.3) e coletadas amostras para análises físico-químicas e bacteriológicas.

Posteriormente, foram aproveitados os dados de uma pesquisa realizada nesse cemitério pela UFMG, através da professora Leila Menegasse. Essa pesquisa constou de um poço de monitoramento em uma outra região baixa que recebe a recarga de uma parte desse cemitério (mostrado na figura 9.11 pela sigla CP-3) e outro poço na região de montante em relação ao fluxo das águas subterrâneas, para funcionar como "back-ground" na análise de contaminação (Poço de monitoramento indicado pela sigla CP-2 na figura 9.11). Essa pesquisa contou ainda com uma prospecção geofísica pelo método de eletro-resistividade, que forneceu uma visão da espessura da cobertura do solo em toda a área do cemitério.

b) Cemitério Parque da Colina

Esse é o maior cemitério da cidade, com 245.000 m^2 de extensão. Trata-se de um cemitério moderno, todo gramado, porém com relevo mais acidentado que o cemitério da Paz, o que reduz um pouco as chances de infiltração.

A geologia e as características do solo de cobertura são idênticas às descritas para o caso anterior.

A pesquisa nesse cemitério constou de uma sondagem executada nas margens de um córrego temporário procedente do cemitério e a uma distância de 70 m do cemitério, já que não foi autorizada a perfuração no seu interior.

A sondagem teve 4,70 m de profundidade, com nível freático a 3,57 m, ensejando também a construção de um poço de monitoramento nos mesmos moldes do apresentado na foto 4.3.

Esse poço, que se encontra no mapa da figura 4.1 com a sigla ST-5, permitiu a realização de ensaio de condutividade hidráulica e a amostragem da água para análises físico-químicas e bacteriológicas.

c) Cemitério da Saudade

Esse cemitério possui uma extensão de 150.000 m^2, com declividades muito variadas, desde 12,5% na direção oeste até 55,0% na direção norte.

Como mostrado na figura 9.12, esse cemitério ocupa o topo de uma colina, apresentando os seguintes desníveis máximos nas diferentes direções: 44m oeste, 45 m norte, 46 m leste e 38 m sul.

A vegetação é escassa, apresentando esparsas árvores ao longo dos caminhos de acesso e nenhuma vegetação no entorno das covas.

A geologia é um pouco diferente dos cemitérios anteriormente comentados, pois se trata agora de filitos da Formação Sabará, que propicia a formação de solos mais argilosos.

Nesse cemitério, a pesquisa baseou-se nos dados obtidos com as investigações realizadas pela professora Leila Menegasse da UFMG, que havia construído um poço de monitoramento indicado no mapa da figura 9.12 pela sigla CS-1. Além desse poço, foi coletada água em uma cisterna antiga situada próxima à entrada do cemitério, como mostra a figura 9.12 pela sigla CS-2.

A exemplo dos anteriores, o poço construído ensejou a realização de teste de condutividade hidráulica e a coleta de amostras de água para análises físico-químicas e bacteriológicas.

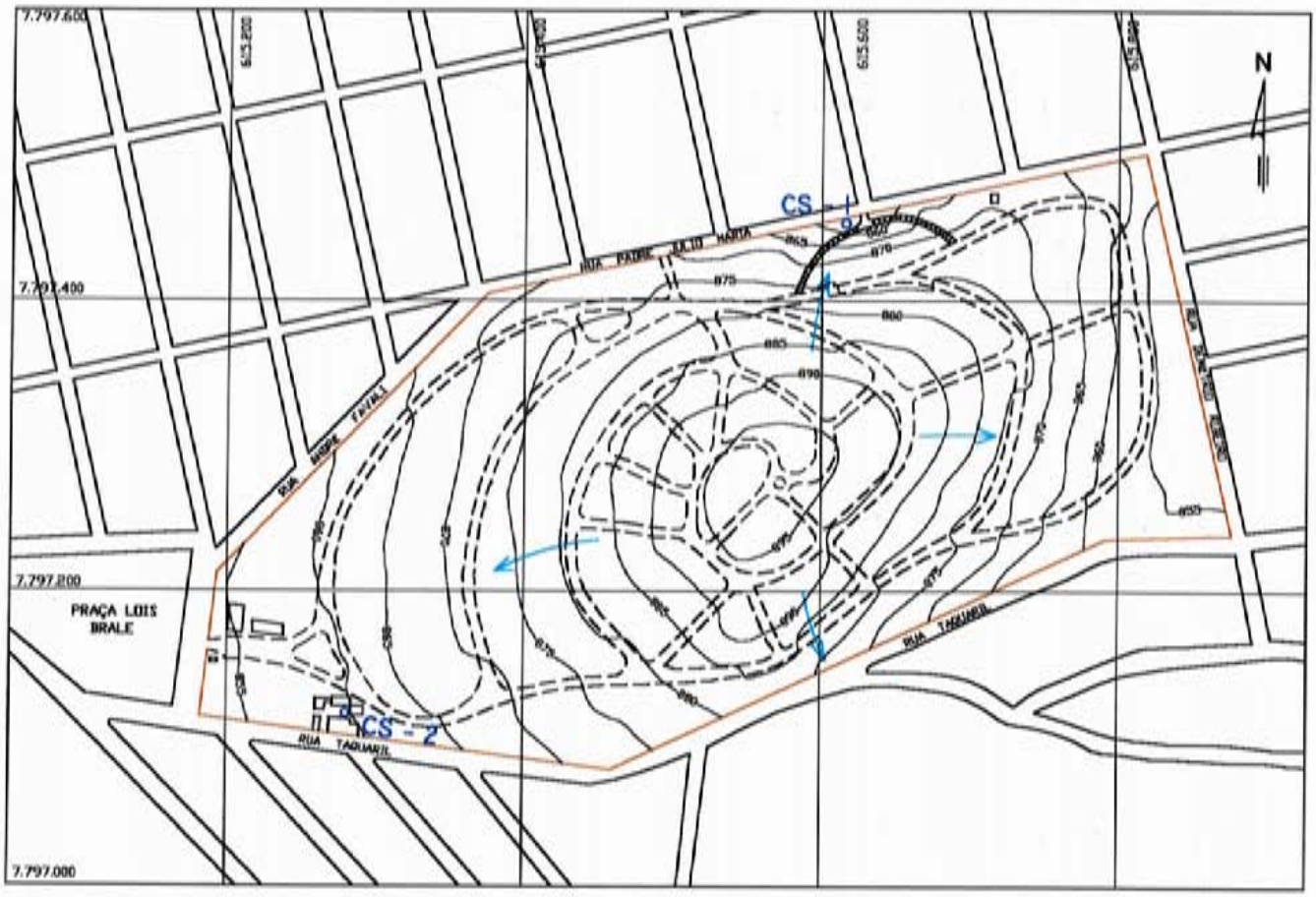
9.5.5. Contaminação constatada

a) Cemitério da Paz

As águas subterrâneas desse cemitério foram estudadas a partir de 5 análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas em diferentes épocas (duas campanhas no período seco – outubro – e duas campanhas após o final do período chuvoso – março) nos anos de 1999, 2000 e 2002, no poço de monitoramento CP-1 e uma campanha após o período chuvoso nos poços CP-2 ("back-ground") e CP-3.

Os resultados dessas análises acham-se relacionados nos Quadros 9.25 e 9.26. No primeiro quadro são incluídos os valores das diversas campanhas realizadas no poço CP-1, tendo sido analisadas as águas coletadas na campanha de 20.10.00 em dois laboratórios diferentes (Geosol e Sanear) para aferir os resultados julgados muito elevados nas campanhas anteriores.

No Quadro 9.26 são comparados os resultados obtidos nos três poços de monitoramento da última campanha realizada no Cemitério da Paz com os obtidos nas duas coletas efetuadas no Cemitério da Saudade (todos amostrados em 04.03.02) e com os resultados obtidos no Cemitério Parque da Colina (campanha de 10.12.00).



LIMITE DO CEMITÉRIO

CS - 1 POÇO DE MONITORAMENTO

FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

ESCALA

50 0 50 100 150M

FIGURA 9.12

CEMITÉRIO DA SAUDADE

QUADRO 9.25 - ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E BACTERIOLÓGICAS NO CEMITÉRIO DA PAZ - POÇO DE MONITORAMENTO CP-1

a) Elementos caracterizadores da potabilidade

PARÂMETRO	UNIDADE	LIMITE CRÍTICO	GEOSOL				SANEAR
			25.10.99	21.03.00	20.10.00	04.03.02	04.03.02
pH	-	6-9 (2)	6,49	6,71	6,44	6,79	7,45
Cor aparente	mg/L$PtCl_4$	15 (1)	< 1,00	4.000,00	2.000,00	1.400,00	11.000,00
Turbidez	NTU	5 (1)	1.500,00	800,00	1.750,00	1.450,00	3.430,00
Condutividade elétrica	µS/cm	-	208,00	639,00	395,00	895,00	319,00
Sólidos Totais	mg/L	-	6.310,00	3.694,00	6.379,00	-	2.166,00
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	1000 (1)	208,00	487,00	282,00	607,00	245,00
Sólidos em Suspensão	mg/L	100 (2)	6.100,00	3.207,00	6.097,00	-	1.921,00
Alcalinidade em hidróxido	mg/L$CaCO_3$	-	< 1,00	< 1,00	-	-	-
Alcalinidade em carbonato	mg/L$CaCO_3$	-	< 1,00	< 1,00	-	-	-
Alcalinidade em bicarbon.	mg/L$CaCO_3$	-	171,00	970,00	181,00	440,00	162,56
Dureza Total	mg/L$CaCO_3$	500 (1)	54,50	532,00	81,90	596,00	120,24
Dureza em Ca	mg/L$CaCO_3$	-	24,20	452,00	57,00	-	108,22
Dureza em Mg	mg/L$CaCO_3$	-	30,30	80,00	24,90	-	12,02
N nítrico – NO_3	mg/L N	10 (1)	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,001
N nitroso – NO_2	mg/L N	1 (1)	0,29	< 0,05	0,24	0,65	0,29
Cloretos	mg/L	250 (1)	7,56	3,50	8,73	14,00	10,20
Sulfatos	mg/L	250 (1)	6,00	58,00	2,17	45,50	3,15
Cálcio	mg/L	-	10,20	147,00	27,80	219,00	43,29
Magnésio	mg/L	-	7,99	21,90	6,94	11,90	2,92
Sódio	mg/L	200 (1)	8,42	28,00	5,45	6,11	18,05
Potássio	mg/L	-	4,39	4,18	5,77	15,40	10,67

b) Metais

PARÂMETRO	UNIDADE	LIMITE CRÍTICO	GEOSOL				SANEAR
			25.10.99	21.03.00	20.10.00	04.03.02	04.03.02
Ag - Prata	mg/L	0,010 (2)	< 0,010	0,010	< 0,010	-	-
Al - Alumínio	"	0,200 (1)	137,00	121,00	15,70	24,60	31,80
B - Boro	"	0,750 (2)	0,040	0,080	< 0,002	-	-
Ba - Bário	"	0,700 (1)	0,089	1,230	0,250	0,500	-
Be - Berilo	"	0,100 (2)	< 0,005	0,010	< 0,005	-	-
Bi - Bismuto	"	-	0,070	0,130	< 0,050	-	-

Cd - Cádmio	"	0,005 (1)	0,054	0,129	0,0170	0,010	< 0,001
Co - Cobalto	"	0,200 (1)	0,060	0,120	0,010	-	-
Cr - Cromo	mg/L	0,050 (1)	0,100	0,390	0,040	0,020	0,080
Cu - Cobre	"	2,000 (1)	0,080	0,320	0,030	0,090	0,110
Fe - Ferro	"	0,300 (1)	132,00	426,00	83,90	65,30	136,29
La - Lantânio	"	-	0,150	0,830	0,110	-	-
Li - Lítio	"	2,500 (2)	0,030	0,090	< 0,020	-	-
Mn – Manganês	"	0,100 (1)	0,520	2,170	0,440	0,480	0,870
Mo – Molibdeno	"	-	0,210	0,610	0,040	-	-
Ni - Níquel	"	0,025 (2)	0,070	0,160	< 0,050	-	0,110
P - Fósforo	"	-	0,050	1,220	-	-	-
Pb - Chumbo	"	0,010 (1)	0,490	1,200	0,120	0,160	0,100
Sc - Escândio	"	-	0,020	0,080	0,010	-	-
Si - Silício	"	-	105,00	11,70	-	-	-
Sn - Estanho	"	2,000 (2)	< 0,500	0,570	< 0,050	-	-
Sr - Estrôncio	"	-	0,079	1,460	0,300	-	-
Ti - Titânio	"	-	6,410	1,970	0,490	-	-
V - Vanádio	"	0,100 (2)	0,140	0,630	0,070	-	-
Y - Ítrio	"	-	0,050	0,290	0,030	-	-
W - Tungsteno	"	-	0,570	1,610	0,050	-	-
Zn - Zinco	"	0,180 (2)	0,260	0,890	0,090	0,160	0,240
Zr - Zircônio	"		0,080	0,120	0,010	-	-

c) Contaminação Bacteriológica

DETERMINAÇÃO	UNIDADE	LIMITE CRÍTICO	GEOSOL			UFMG	
			21.10.99	21.03.00	19.10.00	25.10.99	21.03.00
Coliformes Totais	nmp/100 mL	0	90	50	200	2.400	1.600
Coliformes Fecais	"	0	1	48	8	0	17
Estreptococus Fecais	"	0	170	0	100	-	-
Clostridium	"	0	-	-	-	Ausência	Presença

Limites Críticos: (1) - Portaria nº 1469 do Ministério da Saúde (02.01.01)
(2) - Deliberação Normativa nº 010/86 do COPAM (Água Especial)

QUADRO 9.26 - COMPARAÇÃO ENTRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE TRÊS CEMITÉRIOS DE BELO HORIZONTE

a) Elementos caracterizadores da potabilidade

PARÂMETRO	UNIDADE	LIMITE CRÍTICO	CEMITÉRIO DA PAZ 04.03.02			CEM.DA SAUDADE 04.03.02		C. PAR. DA COL 12.12.00
			CP-1	CP-2 BG	CP-3	CS-1	CS-2 BG	
pH	-	6-9 (2)	6,79	-	6,27	6,09	6,47	6,25
Cor aparente	mg/L$PtCl_4$	15 (1)	1.400,00	-	1.400,00	-	-	-
Turbidez	NTU	5 (1)	1.450,00	-	1.600,00	2,50	1,50	1,50
Cond. elétrica	µS/cm	-	895,00	-	476,00	188,00	177,00	-
Sólidos Totais	mg/L	-	-	-	-	-	-	77,20
Sol. Dissolv.	mg/L	1.000 (1)	607,00	-	276,00	88,40	129,00	66,60
Alcal. em bicar.	mg/L$CaCO_3$	-	440,00	-	165,00	67,00	42,00	-
Dureza Total	mg/L$CaCO_3$	500 (1)	596,00	-	180,00	78,90	42,40	-
N nítrico	mg/l N	10 (1)	0,65	-	11,00	1,33	5,71	< 0,05
N nitroso	mg/L N	1 (1)	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-
Cloretos	mg/L	250 (1)	14,00	-	8,10	< 2,00	5,70	< 0,50
Sufatos	mg/L	250 (1)	45,50	-	< 1,00	4,12	1,06	-
Cálcio	mg/L	-	219,00	-	63,00	7,52	10,90	13,00
Magnésio	mg/L	-	11,90	-	5,61	14,60	3,70	0,21
Sódio	mg/L	200 (1)	6,11	5,29	27,70	3,48	3,85	0,64
Potássio	mg/L	-	15,40	-	10,20	2,29	0,70	< 0,50

b) Metais

PARÂMETRO	UNIDADE	LIMITE CRÍTICO	CEMITÉRIO DA PAZ 04.03.02			CEM.DA SAUDADE 04.03.02		C.PAR. DA COL 12.12.00
			CP-1	CP-2 BG	CP-3	CS-1	CS-2 BG	
Ag - Prata	mg/L	0,010 (2)	-	-	-	-	-	< 0,010
Al - Alumínio	"	0,200 (1)	221,00	24,60	25,90	3,31	< 0,05	< 0,050
B - Boro	"	0,750 (2)	-	-	-	-	-	0,080
Ba - Bário	"	0,700 (1)	4,573	0,500	0,181	0,121	0,061	0,021
Be - Berilo	"	0,100 (2)	-	-	-	-	-	< 0,005
Bi - Bismuto	"	-	-	-	-	-	-	< 0,050
Cd - Cádmio	"	0,005 (1)	0,037	0,010	0,08	< 0,001	< 0,001	< 0,005
Co - Cobalto	"	0,200 (2)	-	-	-	-	-	< 0,010
Cr - Cromo	"	0,050 (1)	0,100	0,02	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,020
Cu - Cobre	"	2,000 (1)	0,880					
Fe - Ferro	"	0,300 (1)	84,14					

La - Latânio	"	-	-					
Li - Lítio	mg/L	2,500 (2)	-	-	-	-	-	< 0,020
Mn- Manganês	"	0,100 (1)	10,900	0,480	0,260	0,100	< 0,020	0,210
Mo- Molibdênio	"	-	-	-	-	-	-	< 0,010
Ni – Níquel	"	0,025 (2)	-	-	-	-	-	< 0,050
P - Fósforo	"	-	-	-	-	-	-	0,020
Pb – Chumbo	"	0,010 (1)	0,770	0,160	0,240	0,050	< 0,020	0,030
Sc - Escândio	"	-	-	-	-	-	-	< 0,010
Si - Silício	"	-	-	-	-	-	-	< 0,050
Sn- Estanho	"	2,000 (2)	-	-	-	-	-	< 0,050
Sr - Estrôncio	"	-	-	-	-	-	-	0,083
Ti – Titânio	"	-	-	-	-	-	-	< 0,010
V - Vanádio	"	0,100 (2)	-	-	-	-	-	< 0,010
Y - Ítrio	"	-	-	-	-	-	-	< 0,010
W- Tungstênio	"	-	-	-	-	-	-	< 0,050
Zn – Zinco	"	0,180 (2)	1,17	0,160	0,230	0,130	0,100	0,060
Zr – Zircônio	"	-	-	-	-	-	-	< 0,010

c) Contaminação Bacteriológica

DETERMINAÇÃO	UNIDADE	LIMITE CRÍTICO (1)	CEMITÉRIO DA PAZ 04.03.02			CEMITÉRIO DA SAUDADE– 04.03.02		C.PAR. DA COL 12.12.00
			CP-1	CP-2 BG	CP-3	CS-1	CS-2 BG	
Coliformes Tot.	nmp/100ml	0	1,00	2,00	3.300,00	10,00	10,00	0
Coliformes Fec.	"	0	2,00	0	15,00	0	0	0
Estreptococus F	"	0	30,00	0	16,00	2,00	0	0

Limites críticos: (1) - Portaria nº 1469 do Ministério da Saúde (02.01.01)
(2) - Deliberação Normativa nº 010/86 do COPAM (Água Especial)

Em ambos os quadros os resultados apresentados em vermelho indicam valores acima dos limites de potabilidade para água definidos pela Portaria nº 1469 do Ministério da Saúde (02.01.01), complementada pela Deliberação Normativa nº 010/86 do COPAM (Conselho Estadual da Política Ambiental de Minas Gerais).

A análise desses quadros permite exarar as seguintes conclusões sobre a qualidade das águas subterrâneas nessas áreas e das possibilidades de sua contaminação:

- A qualidade natural das águas subterrâneas na área de entorno ao Cemitério da Paz é muito boa, em função dos principais elementos caracterizadores de sua potabilidade. A elevada taxa de sólidos dissolvidos é função da grande quantidade de cálcio presente

nessas águas, que lhe conferem elevada dureza, porém tal fato é um tipo de contaminação que será abaixo discutida;

- Os elevados valores de turbidez e cor aparente nessas águas são conseqüentes de um pré-filtro mal dimensionado na construção do poço de monitoramento. Em conseqüência, quando o nível é rebaixado durante a coleta de água, o gradiente criado carreia os finos do solo para o interior do poço, incluindo as impurezas que emprestam uma coloração cinza escuro ao necrochorume captado nesses poços;
- A contaminação das águas subterrâneas no entorno desse cemitério é um fato irrefutável e inclui os dois tipos esperados: físico-química e bacteriológica. A contaminação físico-química inclui o carbonato de cálcio proveniente da cal com que são pintadas as covas (foto 9.16) e da própria argamassa que rejunta os tijolos (foto 9.17), além de metais encontrados nas guarnições, vernizes e tintas dos ataúdes, que são dissolvidos nas águas infiltradas. Entre os metais destacam-se os seguintes: Al, Cd, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn. Apenas em um local desse cemitério (Poço CP-3) foi constatado elevado teor de nitrato, provavelmente em decorrência da decomposição de corpos. Sob o ponto de vista bacteriológico, é intensa a contaminação por *coliformes* fecais e *estreptococus* fecais, sendo ainda constatada a presença de *Clostridium*. Todas as contaminações acima citadas podem ser comprovadas quando comparados os resultados dos poços de monitoramento CP-1 e CP-3 com o poço "back-ground" CP-2, embora alguns metais tenham acusado um ligeiro excesso também no poço "back-ground", principalmente Fe e Al, provavelmente em função da alteração química de alguns minerais ferromagnesianos presentes no maciço rochoso local em presença da água subterrânea.
- As campanhas realizadas após o período chuvoso revelaram maior contaminação que as realizadas no período seco, mostrando uma resposta muito rápida para o transporte dos produtos de lixiviação dos cadáveres, ataúdes e covas pelas águas pluviais infiltradas, sendo mais notada essa influência para os íons mais solúveis, como Ca, Fe e Mn.

b) Cemitério da Saudade

Nesse cemitério, foi realizada apenas uma campanha de análises físico-químicas e bacteriológicas no período final das chuvas (04.03.02), quando foram amostrados o poço de monitoramento (CS-1) e a cisterna (CS-2).

Os resultados apresentados no Quadro 9.26 permitem fazer os seguintes comentários sobre as possibilidades de contaminação das águas subterrâneas no Cemitério da Saudade:

- A qualidade dessas águas em termos de potabilidade é excelente, principalmente se considerado que o aqüífero local é constituído por xistos e filitos, que geralmente possuem fraturas muito fechadas, ensejando maior possibilidade para retenção das águas infiltradas, aumentando as chances de sua salinização;
- A contaminação físico-química é insignificante, quando comparada com o Cemitério da Paz. Apenas o chumbo acha-se ligeiramente superior aos limites de potabilidade, pois o Fe e Al, também com pequeno excesso, podem ser relacionados com problemas localizados de alteração da rocha.
- A contaminação bacteriológica também é menor que no cemitério anterior, sendo digno de registro uma pequena quantidade de *estreptococus* fecais (2,0 nmp/100ml).
- A menor contaminação constatada nesse cemitério em relação ao Cemitério da Paz deve-se a dois motivos: o cemitério localiza-se em um relevo mais acidentado, onde o escoamento superficial ocorre em quatro diferentes direções; os túmulos são, na maior parte, melhor protegidos contra a infiltração, conforme mostrado na foto 9.19

c) Cemitério Parque da Colina

Esse cemitério foi pesquisado com uma única campanha, realizada em 12.12.00.

A exemplo do Cemitério da Saudade, é excelente a qualidade das águas subterrâneas nesse local, sendo também mínima a contaminação constatada. O chumbo acha-se ligeiramente excedido e o Fe e Mn devem ser conseqüência da alteração de ferromagnesianos das rochas locais.

9.5.6. Influência dos cemitérios à luz da vulnerabilidade dos aqüíferos de Belo Horizonte

A análise das relações entre a localização dos cemitérios de Belo Horizonte e a vulnerabilidade de seus aqüíferos, ratifica plenamente as considerações já efetuadas, quando esses cemitérios foram acima descritos.

Como pode ser observado no mapa da figura 9.10, o Cemitério da Paz é o que apresenta a pior situação com relação ao risco de contaminação das águas subterrâneas, já que se situa quase que totalmente em área de elevada vulnerabilidade.

O cemitério da Saudade vem a seguir em termos de risco de contaminação, com a maior parte de sua extensão também em área de elevada vulnerabilidade do aqüífero.

O cemitério Parque da Colina apresenta-se quase totalmente instalado em área de vulnerabilidade moderada, embora sua parte mais baixa (25% de sua extensão) fique localizada já em área de elevada vulnerabilidade.

Finalmente os cemitérios da Consolação, Bosque da Esperança e do Bomfim situam-se totalmente em áreas de vulnerabilidade moderada.

Assim, essas relações vêm comprovar o acerto da seleção procedida nesses cemitérios em termos de pesquisa, juntando-se aos demais critérios já mencionados que permitiram priorizar as pesquisas nos três cemitérios acima referidos.

9.6. HOSPITAIS

9.6.1. Possibilidades de contaminação hospitalar

É sabido que os hospitais abrigam os mais variados tipos de doentes, muitos dos quais com elevado grau de contágio, seja por vírus ou bactérias, a ponto de serem esses estabelecimentos temidos pelo seu elevado índice de infecção hospitalar.

Além da possibilidade de contaminação por organismos patogênicos, os hospitais manipulam produtos tóxicos, químicos e radioativos utilizados na profilaxia de várias doenças e que, nem sempre são manuseados convenientemente, principalmente com relação ao resíduo gerado, quer na forma de produto residual, ou como simples embalagem.

Apesar da existência de todos esses riscos potenciais de contaminação, são desconhecidas pesquisas no Brasil que relacionem tais riscos com as águas subterrâneas através de eventuais infiltrações dessas fontes de contaminação.

É provável que as formas mais plausíveis para que isso acontecesse seria através das instalações sanitárias, principalmente ao longo de pias, lavatórios e ralos de pisos, ou do lixo hospitalar.

Considerando que nas grandes cidades como Belo Horizonte, todas as instalações sanitárias são ligadas à rede de esgotos, a única possibilidade de contaminação por tal meio seria a existência de vazamentos nessa rede, o que, evidentemente, seria muito difícil de detectar.

Quanto ao lixo hospitalar, a maneira de provocar contaminação *in situ* estaria relacionada com a forma de armazenar esses resíduos até serem encaminhados para um aterro específico, quando então passaria a outra esfera de contaminação, já referida em aterros de resíduos sólidos.

9.6.2. Controle Ambiental em Belo Horizonte

A Secretaria Municipal do Meio Ambiente – SMMA – da Prefeitura de Belo Horizonte é o órgão responsável pelo controle ambiental dos hospitais, clínicas e demais estabelecimentos ligados à saúde.

Ocorre que não existe qualquer legislação pertinente a eventuais contaminações causadas por tais estabelecimentos, pelo que, apenas são registradas nesse órgão as características de instalação e operacionalização desses hospitais, inexistindo qualquer tipo de controle ou monitoramento que permita avaliar alguma possibilidade de contaminação.

Essa ausência de controle ambiental sobre os hospitais está amparada pela própria legislação que instituiu a Licença Ambiental (Lei nº 7.277/97) que não incluiu os hospitais entre os empreendimentos considerados como geradores de impactos.

9.6.3. Pesquisa realizada

Em Belo Horizonte existem 95 estabelecimentos hospitalares, conforme relacionado no Quadro 9.27 e distribuídos territorialmente como mostrado no mapa da figura 9.10.

Pelo cadastro de poços tubulares do Anexo 2.1., deveriam possuir poços os seguintes hospitais: Felício Roxo, Polícia Militar, Sara Kubitschek, Socor, Vera Cruz e Santa Casa de Misericórdia.

QUADRO 9.27 - HOSPITAIS E CLÍNICAS DE BELO HORIZONTE

Nº	NOME	ENDEREÇO	COORDENADAS – UTM	
			LONGITUDE	LATITUDE
01	Alimentar Te Alim.Hosp.Dieta Terapia	R. Aimorés 3100	609.586	7.796.575
02	AM Serv.Med. e Hosp. SC Ltda.	R. Pe. Pedro Pinto 11	605.831	7.809.997
03	Biocor Hosp.de Doenças Cardiovascul.	R. Paisagem 280	610.408	7.790.331
04	Casa de Saúde e Mat.Ernesto Gazaoli	R. Adalberto Ferraz 42	610.673	7.798.101
05	Casa de Saúde Santa Clara	R. Viçosa 43	611.236	7.794.743
06	Casa de Saúde Santa Maria	Av. Do Contorno 4766	612.482	7.795.275
07	Centro Oftalmológico de M.Gerais	R. Santa Catarina, 941	610.426	7.796.074
08	Clínica Antônio Moreira	R. Jacutinga 836	605.647	7.797.702
09	Clínica Dr.J.Raimundo da Silva Lippi	R. Leopoldina 729	610.780	7.794.149
10	Clínica Médica Agnus Dei SC Ltda.	R. José Figueiredo 157		
11	Clínica N.Sra. de Lourdes	R. Santa Fé 100	611.162	7.792.966
12	Clínica Pinel S.A.	R. Ipê Branco 165	608.635	7.804.260
13	Clínica Santa Inês	R. Aquiles Lobo 180	612.225	7.797.247
14	Faculd.de Ciências Médicas de MG	R. Pacífico Mascarenhas 38	612.958	7.796.879
15	Fais Hosp. Sofia Feldman	R. Antônio Bandeira 1060	613.663	7.806.341
16	Fhemig- Fund.Hospit.do Est.de MG	R. Álvaro Celso 100	612.264	7.796.678
17	Fhemig- Fund.Hospit.do Est.de MG	R. 28 de setembro 372	614.545	7.798.804
18	Fund. de Assistência Integral à Saúde	R. Antônio Bandeira 1060	613.663	7.806.341
19	Fund. Benjamin Guimarães	R. Juramento 1464	615.203	7.796.976
20	Fund. Felice Rosso	Av. do Contorno 9530	609.168	7.796.741
21	Fund. Hospitalar do Estado de MG	Av. Antônio Celso 100		
22	Fund. Mineira para o Des.Hospitalar	R. Carangola 225	610.777	7.794.684
23	Hemominas Fund.Centro Hemat.Hemot.	Al. Ezequiel Dias 321	611.863	7.796.544
24	Hosp. do Advogado Mineiro	R. Martinho Campos 25	612.257	7.794.635
25	Hosp. Alberto Cavalcante	R. Camilo de Brito 636	605.856	7.798.011
26	Hosp. Arapiara	Av. do Contorno 2983	613.033	7.796.826
27	Hosp. da Baleia	R. Juramento 1464	615.203	7.796.976
28	Hosp. Belo Horizonte	Av.Pres.Antônio Carlos 1694	610.133	7.799.643
29	Hosp. Biocor de Doenças Cardiovascul.	Al. Serra 217		
30	Hosp. das Clínicas UFMG	Av. Prof. Alfredo Balena 110	612.219	7.796.563
31	Hosp.da Criança do Grupo Min.de Ped.	Av. do Contorno 8931	609.191	7.795.904
32	Hosp. Dom Bosco S.A.	R. Padre Pedro Pinto 175	609.671	7.808.130
33	Hosp. Espírita André Luz	R. Úrsula Paulino 7	606.666	7.793.728
34	Hosp. Felício Roxo	Av. do Contorno 9530	609.168	7.796.741
35	Hosp. Faucenter Ltda.	Av. Raja Gabáglia 2400	609.137	7.792.903
36	Hosp. Galba Veloso	R. Cde. Pereira Carneiro 364	606.121	7.796.194
37	Hosp. Hermon	R. Boaventura 231	609.958	7.802.631
38	Hosp. Infantil Padre Anchieta	R. Maj. Delfino de Paula 2356	609.136	7.801.611
39	Hosp. Infantil Santa Terezinha	Av. Amazonas 4041	607.766	7.795.861
40	Hosp. Infantil São Camilo	Av. Silviano Brandão 1600	612.782	7.797.944
41	Hosp. Infantil São Domingos Sávio	R. Timbiras 2674	610.164	7.796.564
42	Hosp. Infantil São Paulo	R. Flavio Marques Lisboa 80	603.012	7.791.256
43	Hosp. Infantil de Urgência São Paulo	Av. Visconde de Ibituruna 79	602.979	7.791.238
44	Hosp. João XXIII	Al. Álvaro Celso 100	612.263	7.796.678
45	Hosp. Júlia Kubstchek Fhemig	R. Dr. Cristiano Rezende 312	604.763	7.789.303
46	Hosp. Lourdes	R. Aimorés 2125	610.543	7.796.288
47	Hosp. Luxemburgo	R. Gentios 1350	608.990	7.793.642
48	Hosp. Maçônico São João Batista	R. Min. Orozimbo Nonato 525		
49	Hosp. Madre Tereza	Av. Raja Gabaglia 1002	609.153	7.794.459
50	Hosp. Maria Amelia Lins	Al. Álvaro Celso 100	612.263	7.796.678

QUADRO 9.27 - HOSPITAIS E CLÍNICAS DE BELO HORIZONTE - Continuação

Nº	NOME	ENDEREÇO	COORDENADAS – UTM	
			LONGITUDE	LATITUDE
51	Hosp. Maria de Lourdes Drumond	Av. Silva Lobo, 1718	608.085	7.794.861
52	Hosp. Mario Pena	Av. Churchil 232	613.409	7.796.800
53	Hosp. Mater Dei	R. Gonçalves Dias, 2.700	609.946	7.796.800
54	Hosp. e Maternidade RG Ltda.	R. Pará de Minas 295	606.398	7.797.651
55	Hosp. Miguel Couto	R. Bonfim 577	610.180	7.797.992
56	Hosp. Municipal Odilon Behrens	R. Formiga 50	610.337	7.798.757
57	Hosp. N.Sra. Aparecida	R. Joaquim Gouvêa 560	612.530	7.803.094
58	Hosp. N.Sra. do Carmo	R. José Maurício Brandão 619		
59	Hosp. de Olhos de Minas Gerais	R. Paisagem 222	610.350	7.790.261
60	Hosp. Ortopédico	R. Prof.Otávio Coelho Magalhães 111	613.313	7.793.872
61	Hosp. Paulo de Tarso	R. Estoril 207	609.743	7.802.552
62	Hosp. da Polícia Militar	Av. do Contorno 2787	612.861	7.796.889
63	Hosp. e Policlínica Renascença	R. Jacuí 2777	613.393	7.800.458
64	Hosp. da Previdência Ipsemg	Al. Ezequiel Dias 225	611.899	7.796.688
65	Hosp. Prontocor	R. Sergipe 1456	611.094	7.794.936
66	Hosp. Redentor	R. Juramento 1464	619.203	7.796.976
67	Hosp. Residência	Av. Carandaí 415	612.416	7.796.073
68	Hosp. Santa Bárbara Recup.e Reum.	Av. do Contorno 4808	612.476	7.795.233
69	Hosp. Santa Lúcia	R. Joaquim Figueredo 140		
70	Hosp. Santa Terezinha	R. Jorge Antônio Nassar 408	606.675	7.809.535
71	Hosp. Santana	R. Santa Cruz 137		
72	Hosp. Santo Inácio	Av. Dr. Cristiano Guimarães 2144	609.740	7.806.044
73	Hosp. São Bento Cardioclínica	R. Crucis 50	610.329	7.792.720
74	Hosp. S.Fr.de Assis-Corp.Med.Cat.	R.Itamaracá 535	611.639	7.798.931
75	Hosp. São Lucas	Av. Francisco Sales 1111	612.480	7.796.476
76	Hosp. São Paulo	R. Aimorés 3004	609.719	7.796.539
77	Hosp. Sarah Kubitschek	Av. Amazonas 5953	605.936	7.795.673
78	Hosp. Semper-Serv.Méd.Permanen.	Al. Ezequiel Dias 389	611.821	7.796.400
79	Hosp. Socor	Av. do Contorno 10.500	609.743	7.797.303
80	Hosp. SOS	Av. Amazonas 2267	609.538	7.796.208
81	Hosp. Universitário São José	R. Aimorés 2896	609.834	7.796.512
82	Hosp. Vera Cruz	Av. Barbacena 653	609.635	7.796.639
83	Inst. de Otorinolaringologia de MG	Av. Afonso Pena 2928	612.247	7.795.175
84	Inst. das Peq.Mission.de M.Imacul.	Av. Raja Gabáglia 1002	609.153	7.794.458
85	Inst. de Pesq.Méd.Cirúrgicas de MG	Av. Silva Lobo 1718	608.054	7.794.903
86	Inst. de Radioter.e Megavolt.de MG	Av. Pres. Antônio Carlos 1694	610.135	7.799.643
87	Inst. Raul Soares	Al. Álvaro Celso 100	612.263	7.796.678
88	Maternidade Otaviano Neves	R. Ceará 186	612.443	7.796.750
89	Pace Medicina da Vida	R. Tomaz Gonzaga 802	610.281	7.795.809
90	Pronto Socorro Venda Nova	R. Gabirobas 1	610.080	7.808.349
91	Puer Casa de Saúde Infantil	Av. Olegário Maciel 1479	610.343	7.796.279
92	Santa Casa de Misericórdia de BH	Av. Francisco Sales 1111	612.480	7.796.476
93	Semper – Serv.Méd.Permanente	R. Estoril 2040	608.575	7.801.304
94	Serpmed Ltda.	Av. Augusto de Lima 1646	609.743	7.796.993
95	SOS Medic. e Cirur. de Urgência	Av. Amazonas 2311	609.499	7.796.186

Considerando que a única forma de detectar a existência de uma eventual contaminação desses hospitais para as águas subterrâneas seria a análise físico-química e bacteriológica de poços tubulares existentes em seu interior ou em suas proximidades, foi efetuado um levantamento desses estabelecimentos através do formulário elaborado pelo autor, conforme modelo apresentado no Quadro 9.28.

Essa pesquisa visava não apenas detectar a presença de poços tubulares, mas ainda caracterizar as eventuais fontes de carga contaminante.

9.6.4. Resultados Obtidos

a) Caracterização do Ambiente Hospitalar

A exemplo do ocorrido com os postos de combustíveis, não foi receptiva a coleta de informações através do formulário consubstanciado no Quadro 9.28. Foram distribuídos 78 formulários nos principais hospitais e clínicas, porém a maioria não respondeu sob as mais variadas alegações, até mesmo deixando explícita a sua negativa em ceder qualquer informação que não fosse a um órgão fiscalizador. Ainda assim, foram cadastrados 27 estabelecimentos desse gênero, incluindo aí os principais hospitais da cidade.

A análise desses formulários, complementada pela visita a alguns desses estabelecimentos, permitiu definir um quadro realístico e atual sobre o ambiente hospitalar em Belo Horizonte e sua influência em uma eventual contaminação das águas subterrâneas.

Ratificando o exposto no item 9.6.1., as instalações sanitárias desses hospitais apresentam, em geral, excelentes condições de higiene, não apenas em função da forma com que foram implantadas, mas, também, em relação à manutenção e cuidados higiênicos visando minimizar o risco de infecção hospitalar.

Assim, pode ser considerado mínimo o risco de infiltração para o subsolo de quaisquer efluentes líquidos nesses estabelecimentos. Ainda assim, esse risco existe, pois não se pode avaliar a possibilidade de vazamento na rede de esgotos interna desses estabelecimentos, principalmente naqueles mais antigos, que contam com mais de 50 anos de construção.

O grande problema é constatar tal ocorrência sem que haja um poço tubular no interior do hospital ou imediatamente a jusante do fluxo subterrâneo proveniente desses estabelecimentos.

QUADRO 9.28 - FORMULÁRIO DE CARACTERIZAÇÃO DE HOSPITAIS

1 - Identificação

Razão Social: _____ Nome de Fantasia: _____
Especialidade: _____ C.N.P.J.: _____
Diretoria: _____
Endereço: _____ Bairro: _____ CEP _____
Telefone: _____ Fax: _____ Caixa Postal: _____ E-mail: _____

2 - Características do Hospital

Início das atividades: ___/___/___ Área do terreno: _____m^2 Área construída: _____m^2
Nº de leitos: _____ Nº de apartamentos: _____ Nº de enfermarias: _____
Nº de salas de cirurgia: _____ Nº de CTIs: _____ Nº de ambulatórios: _____
Nº de médicos: _____ Nº de enfermeiros: _____ Nº de auxiliares: _____
Utiliza em algum laboratório produto tóxico? ☐ Sim ☐ Não Em caso afirmativo especificar os produtos utilizados:
_____

3 - Abastecimento de água

Fonte de abastecimento: ☐ Rede Pública ☐ Poço tubular ☐ Outra: especificar: _____
Consumo médio de água: _____m^3/dia

No caso de ser abastecido por poço tubular, citar as seguintes características:

Poço Nº	Localização	Profundidade do poço - m	Profundidade da água - m	Vazão do poço m^3/h	Vazão da bomba m^3/h	Regime horas/dia

4 - Resíduos Sólidos

Quantidades médias: Lixo normal: _____t/mês Lixo hospitalar (contaminado): _____t/mês Lixo total: _____t/mês
Tipo de coleta: ☐ Seletiva (em separado) ☐ Em conjunto
Armazenamento temporário: ☐ Tonéis ☐ Silos ☐ Outro: especificar: _____
Transporte: ☐ Serviço público ☐ Veículo específico ☐ Veículo da rede ☐ Serviço particular
Freqüência: ☐ Diária ☐ Outra: especificar: _____
Destino: ☐ Aterro sanitário público ☐ Lixão público ☐ Aterro particular específico ☐ Incineração
☐ Outro: especificar: _____

5 - Resíduos Líquidos

Origem do resíduo: ☐ Instalação sanitária ☐ Produtos tóxicos de laboratório ☐ Limpezas de salas de cirurgia e ambulatórios
Destino do resíduo: ☐ Rede de esgotos ☐ Fossa séptica ☐ Sistema de tratamento
☐ Corpo d'água superficial: especificar: _____
Tipo de tratamento: _____ Vazão tratada: _____m^3/dia

6 - Informações Complementares

7 - Fonte de Informações

Informante: _____ Cargo: _____ Pesquisador: _____

Quanto aos resíduos sólidos, o armazenamento é feito de duas maneiras diferentes, embora com características semelhantes: a maioria desses estabelecimentos condiciona esses resíduos em sacos plásticos reforçados, guardando-os em quartos apropriados, totalmente azulejados, a espera da coleta pelo Serviço de Limpeza Urbana – SLU – da Prefeitura de Belo Horizonte; alguns estabelecimentos possuem bombonas plásticas apropriadas onde são armazenados os resíduos e conservados também em locais apropriados devidamente higienizados. Diariamente, esses resíduos são coletados pela SLU e transportados para o Aterro Sanitário da BR-040, conforme já referido no item 9.4.

Observa-se assim que, em relação aos resíduos sólidos, não parece haver qualquer risco de contaminação das águas subterrâneas nos estabelecimentos hospitalares de Belo Horizonte.

b) Qualidade das águas subterrâneas

A grande surpresa conseqüente da análise dos formulários acima citados, foi a falta de poços nos estabelecimentos hospitalares.

Além de não ser constatada a presença de qualquer poço além daqueles acima citados, esses também não correspondiam à realidade atual.

Dos 6 (seis) hospitais acima citados como possuidores de poços tubulares, apenas dois ainda possuíam tais poços, embora desativados e em processo de extinção, pois ambos foram cimentados logo após nossa investigação. Todos os demais já haviam sido lacrados, existindo inclusive algumas construções em locais onde havia antes um poço.

Os únicos poços investigados, embora posteriormente cimentados, foram os existentes nos hospitais Felício Roxo e da Polícia Militar. Nesses poços foram realizadas análises físico-químicas e bacteriológicas, não sendo acusado qualquer tipo de contaminação, seja por nitrato, metais ou bactérias.

Assim, embora a amostragem não seja significativa em relação ao número de hospitais existentes (2,1%), pode-se concluir pela falta de elementos que induzam a considerar esses estabelecimentos potencialmente poluidores para as águas subterrâneas, até mesmo pelas características dessas instalações com relação a possíveis fontes de contaminação, conforme acima comentado.

9.7. SANEAMENTO BÁSICO

9.7.1. Risco de Contaminação das águas subterrâneas por deficiência de saneamento básico

Foi observado no item 9.1. que a deficiência no saneamento básico em uma área urbana constitui a mais difícil origem de contaminação dos aqüíferos a ser detectada, por se constituir uma carga contaminante difusa ou dispersa.

Os problemas relacionados com essa origem podem ser concentrados em três diferentes possibilidades de ocorrência: infiltração direta no subsolo de excrementos humanos armazenados em fossas negras ou secas pela ausência de rede de esgotos; vazamentos na rede de esgotos em função de seu mau uso; infiltração ao longo do leito de rios e córregos ao receberem esgotos sem tratamento.

No primeiro caso, a contaminação é puramente orgânica, porém a rede de esgotos, os rios e córregos que recebem tais esgotos podem conduzir cargas contaminantes das mais variadas procedências nos grandes centros urbanos, já que, além dos esgotos domésticos, incluindo excrementos e águas residuárias, essas redes recebem efluentes provenientes de hospitais, aterros sanitários, cemitérios e da maior parte das indústrias existentes.

Assim, nos dois últimos casos, além da grande contribuição de contaminantes de origem orgânica, são muito variadas as cargas contaminantes de origem química.

9.7.1.1. Contaminação Orgânica

As fontes de contaminação orgânica são os excrementos humanos, os cemitérios, os lixões e os hospitais.

Quase todas essas fontes podem conter um ou mais dos seguintes organismos patogênicos: protozoários, ovos de helmintos, vírus e bactérias.

Segundo Foster et alli – 1981 (in Cavalcanti, 1996), os mais perigosos são os vírus e bactérias, pois seus reduzidos tamanhos facilitam suas penetrações no solo, sendo facilmente transportados pelas águas residuárias e até mesmo pelas pluviais infiltradas, podendo atingir as águas subterrâneas.

As bactérias patogênicas mais comuns presentes nessas cargas contaminantes, segundo Gerba & Goyal – 1985 (in Cavalcanti, 1996), são: *Salmonella,* que pode causar a febre tifóide e a salmonelose; *Shigella,* que provoca a desinteria bacilar; *Vibrio cholerae* que provoca a cólera; e *Campylobacter,* que provoca gastroenterite aguda.

As bactérias do grupo coliforme não são patogênicas, mas constituem um excelente indicador por estarem presentes nas fezes dos animais de sangue quente (coliformes fecais). Sua presença pode ser um indicativo da existência de microorganismos patogênicos.

Entre os mais de 100 (cem) tipos diferentes de vírus associados a essas origens de contaminação, podem ser lembrados o vírus da Hepatite A e o Poliovirus, que transmitem, respectivamente, a hepatite infecciosa e a poliomielite.

O transporte desses microorganismos patogênicos e o seu acesso até as águas subterrâneas depende das condições de atenuação da zona vadosa. Um solo argiloso pode reter muitas bactérias através dos processos de filtração e adsorção.

Por outro lado, a umidade e a temperatura influem muito no processo de atenuação. Em solos secos, as bactérias não sobrevivem mais que 20 dias, porém no solo úmido, o período de sobrevivência é muito maior. Assim, no período que se segue às estações chuvosas, não apenas é longa essa sobrevivência, como ainda é maior a possibilidade de transporte dessas bactérias pelo aumento da carga hidráulica, o que pôde ser comprovado na pesquisa sobre os cemitérios (item 9.5.5.). As baixas temperaturas também aumentam a sobrevida das bactérias, sendo lenta a sua extinção quando a temperatura é muito baixa, podendo mesmo nunca ocorrer (Mirzoev, 1968, in Cavalcanti, 1996).

Finalmente, deve ser levado em conta a profundidade do nível freático na análise da possibilidade de sua contaminação por tais microorganismos patogênicos. Kligler, 1921 (in Lewis et alli, 1988) concluiu que fossas situadas de 1,5 a 2,5 m acima do nível freático, desde que construídas adequadamente, não representavam grande risco para infecções intestinais bacterianas.

Foster et alli (1987) concluiu que existe pequena possibilidade de contaminação bacteriológica decorrente de sistemas sanitários de disposição *in situ*, desde que disponham de, no mínimo, 2 m de solo contínuo abaixo do sistema e se possa manter uma baixa taxa de carga hidráulica (inferior a 500 mm/dia).

Uma vez atingido o aqüífero, os organismos patogênicos têm seu deslocamento dependente da velocidade do fluxo da água subterrânea, porém o período de sobrevivência da maior parte das

bactérias não é muito longo no meio aquoso anaeróbico. Subrahmanyan & Bhaskaran, 1980 (in Cavalcanti, 1996) concluíram que o período provável para bactérias coliformes em tais condições varia entre 4 e 7 dias. Assim, o afastamento seguro entre uma fossa seca ou absorvente e a captação da água subterrânea deveria ser, ao mínimo, equivalente à distância percorrida pela água subterrânea num período de 8 dias.

Além dos microorganismos patogênicos, pode ocorrer a presença elevada de compostos derivados do nitrogênio orgânico presente nos dejetos animais e humanos.

O nitrogênio orgânico ocorre sob a forma de amônia (NH_3), porém sua decomposição pode formar o amônio (NH_4), que constitui a forma predominante do nitrogênio a penetrar em sub-superfície (Canter & Knox, 1988, in Ferreira, 1992). A ocorrência de amônio em águas subterrâneas em teores superiores a 0,50 mg/L já indica contaminação, segundo Custódio & Llamas, 1976, embora tal limitação não conste em nenhum dos padrões de potabilidade apresentado no Quadro 5.9.

O amônio pode ser biologicamente oxidado para nitrato, através do processo de nitrificação, que ocorre em presença das bactérias nitrozomas e nitrobactérias.

O nitrato na água subterrânea é considerado excessivo quando ultrapassa 10,0 mg/L, de acordo com a Portaria nº 1469 do Ministério da Saúde (Quadro 5.9.), podendo ser responsável por doenças como a metahemoglobinemia (cianose infantil), que pode causar a morte, principalmente em crianças, além de evidências que sugerem que a elevada ingestão de nitrato pode ser um fator contribuinte para o surgimento do câncer gástrico.

9.7.1.2. Contaminação inorgânica

Essa contaminação tem sua principal origem nos efluentes industriais direcionados à rede de esgotos, mas recebe também grande contribuição de lixões e aterros sanitários, quando o chorume não é tratado, dos cemitérios e dos hospitais.

Sua constituição mais danosa refere-se à participação de metais pesados, geralmente tóxicos, como Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Sn, Al, Hg, Fe, Mn e Al, mas pode incluir também fenóis, cianetos, sulfatos, sulfetos, óleos e graxas.

Alguns desses metais são persistentes e resistem aos processos atenuadores que se desenvolvem na zona vadosa, chegando facilmente até as águas subterrâneas.

Como não dependem da presença de oxigênio, podem permanecer indefinidamente dissolvidos na água subterrânea, embora a progressiva dissolução reduza sua concentração e, em alguns casos, torne completamente inofensiva a sua presença no aqüífero. Evidentemente, quanto mais próximo à fonte geradora, maior será a concentração, aumentando o risco dos consumidores da água contaminada.

Deve-se, finalmente, observar o efeito acumulador de alguns desses metais no organismo humano, como o Pb e o Hg, que poderá trazer problemas futuros mesmo que ingerido em pequenas doses, porém durante um longo tempo.

9.7.2. Situação do Saneamento em Belo Horizonte

No capítulo 6.5.1., foi mencionado que o atendimento por rede de esgotos atingia 91% da população de Belo Horizonte, podendo ser as áreas não atendidas visualizadas no mapa da figura 6.2.

O detalhamento dessas localidades, incluindo a extensão e população de cada área, acha-se relacionado no Quadro 9.29.

QUADRO 9.29 - CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS NÃO ATENDIDAS POR REDE DE ESGOTOS EM BELO HORIZONTE

DISTRITO	LOCAL	ÁREA - Ha	POPULAÇÃO	DENS.DEM. HAB/Ha
NOROESTE	Braunas	52,06	880	17
	Céu Azul/Trevo	62,87	8.800	140
	Jardim dos Comerciários	11,62	2.400	206
	Santa Amélia	19,62	2.000	102
	Solimões	4,12	400	97
	Marize	4,68	400	97
	Tupi/Mirante	5,93	400	67
	Vila Minas Caixa	0,94	1.600	1.702
	Vila Nossa Senhora Aparecida	3,75	2.400	640
	Vila Copacabana/Índio/Universo	5,37	1.000	186
	Vila Jardim Leblon	0,94	600	638
	Vila Mantiqueira	8,00	2.400	300
	Vila Apolônia	3,75	4.400	1.173
	TOTAIS/MÉDIA	183,65	28.280	154

NORTE	Bairro Itatiaia	1,50	600	400
	Vila Pedreira Prado Lopes	5,18	3.540	683
	Vila Sumaré	3,00	1.944	648
	Vila Nova Cachoeirinha	4,25	4.444	1.045
	Vila Santa Rosa	0,93	1.528	1.643
	Vila Suzana	2,68	276	1.643
	Vila São Francisco das Chagas	2,18	772	354
	Vila Califórnia	6,68	3.552	531
	Vila Coqueiral	1,68	2.224	1.323
	Vila Santo Antônio	0,62	268	432
	Vila Antena	0,87	584	671
	Vila Alvorada	1,88	2.012	1.070
	Vila Novo Ouro Preto	2,81	1.408	501
	Vila Paquetá	0,31	828	2.670
	Bairro Bandeirantes	9,00	528	58
	TOTAIS/MÉDIA	43,57	24.508	562
LESTE	Vila Parque Horto	1,06	184	173
	Vista do Sol	3,87	752	194
	Paulo VI	0,75	532	709
	Jardim Vitória	7,25	1.800	248
	TOTAIS/MÉDIA	12,93	3.268	253
OESTE	Vila Paraíso	0,93	800	860
	Vila Pantanal	0,62	520	838
	Vila Calafate	0,75	272	362
	Complexo R.Itangé/Salgado Filho	4,31	400	93
	Bairro Camargos	6,00	368	61
	TOTAIS/MÉDIA	12,61	2.360	187
SUL	Bairro Taquaril	9,25	11.200	1.210
	Vila São Rafael	0,87	2.016	2.317
	Av. Halley	0,93	128	137
	Córrego Santa Terezinha	2,55	3.172	1.243
	Vila Ponta Porã	0,19	228	1.200
	Aglomerado do Morro do Papagaio	17,00	12.600	741
	Conjunto Santa Maria	0,31	160	516
	Aglomerado da Serra	50,75	40.000	788
	Vila da Área	0,50	432	864
	TOTAIS/MÉDIA	82,35	69.936	849
SUDOESTE	Vila São João	1,25	640	512
	Vila Pinho (área invadida)	1,68	1.520	904
	Bairro Petrópolis (área invadida)	4,00	480	120
	Bairro Novo das Indústrias	0,93	1.320	1.419
	Vila Cemig	1,62	5.160	544
	TOTAIS/MÉDIA	9,48	5.160	544
TOTAIS GERAIS		**344,59**	**133.512**	**387**

NOTA: Os totais referem-se à área e à população enquanto a média corresponde à densidade demográfica

Desse quadro pode-se concluir:

- nos distritos norte e noroeste encontra-se o maior número de localidades sem esgotos (55% do total) e as maiores extensões dessas áreas (66% do total);
- na região sul concentra-se a maior população (52% do total) e também a maior densidade demográfica entre as áreas não atendidas por esgotos;
- embora o percentual de habitantes não atendidos por rede de esgotos seja de 9% em relação à população de todo o município de Belo Horizonte, o total dessas áreas representa apenas 1% do total desse município;
- a densidade demográfica média nas áreas não atendidas por esgotos é de 387 hab/ha, enquanto no restante do município (áreas com rede de esgotos) essa densidade é de apenas 64,79 hab/ha, o que justifica a diferença entre as proporções de habitantes e área ocupada acima referida;
- das 51 localidades não atendidas por rede de esgotos, apenas 6 (11%) apresentam uma densidade demográfica inferior a 100 hab/ha, chegando a atingir um máximo de 1.419 hab/ha.

Nas áreas onde não há cobertura por rede de esgotos, os excrementos humanos são direcionados a fossas secas ou negras e as águas residuárias dirigidas a valas a céu aberto e rede de drenagem local, como mostrado nas fotos 2.4 e 6.9.

Todos os esgotos da cidade vertem suas águas no Rio Arrudas (fotos 2.3 e 2.4) ou no Ribeirão do Onça (foto 6.10).

Considerando que a maior parte das indústrias direciona seus efluentes líquidos às galerias de esgoto, pode-se concluir que esses cursos d'água carreiam durante todo o ano uma grande quantidade de sólidos em suspensão e dissolvidos, incluindo matéria orgânica, organismos patogênicos e metais tóxicos e pesados.

As águas assim contaminadas nesses rios transportam sua carga contaminante para o Rio das Velhas e daí para o São Francisco, embora a concentração de tais contaminantes decresça à medida que afluem em um rio com maior volume de água.

Em Belo Horizonte foi implantada em novembro de 2001 uma estação de tratamento de esgotos no Rio Arrudas (foto 6.11) com capacidade para tratar uma vazão de 4.500 L/s, e está sendo, no momento, licitada a construção de uma estação de tratamento no Ribeirão do Onça com capacidade para 3.600 L/s.

Tais medidas em nada influirão em termos de contaminação das águas subterrâneas, a partir da infiltração das águas desses dois cursos d'água, pelos seguintes motivos:

a) as estações de tratamento, tanto a implantada quanto a que será construída, localizam-se no trecho final desses dois cursos d'água no município de Belo Horizonte, reduzindo apenas a contaminação das águas do Rio das Velhas, pois todo o município ficará a montante dessas estações;

b) as estações incluem os seguintes equipamentos: grades, caixas de areia, decantadores, adensadores, digestores, reatores biológicos e desidritadores de iodo. Esses equipamentos terão a função de, em uma primeira etapa (atual), executar um tratamento primário, que corresponde a 60% de eficiência na redução da carga de sólidos e de até 40% da carga orgânica; numa segunda etapa (prevista para 2003), tais equipamentos permitirão a realização de um tratamento secundário, através do qual espera-se uma eficiência de 90% na redução da carga de sólidos transportados e de carga orgânica. Nota-se, assim, que não está previsto qualquer tratamento que permita a redução dos contaminantes representados pelos metais pesados e tóxicos.

Assim, as possibilidades de contaminação por deficiência de saneamento nesse município, conforme comentado no item 9.7.1, resumem-se aos seguintes casos: a) contaminação orgânica por infiltração diretamente das fossas nas áreas não atendidas por rede de esgotos; b) infiltração ao longo das galerias de esgoto, quando a carga contaminante poderia chegar ao aqüífero em função das características da zona vadosa e profundidade do nível freático; c) infiltração direta da carga contaminante ao longo dos cursos d'água receptores dos esgotos.

9.7.3. Pesquisa Realizada

Das três possibilidades de contaminação acima aventadas, é totalmente impossível pesquisar a segunda, ou seja, a infiltração ao longo das galerias de esgotos. Isso porque, tais infiltrações podem ocorrer em função das seguintes causas: elevada permeabilidade do concreto por falhas construtiva; trincas no concreto; danos provocados por carga excessiva em função, principalmente, do direcionamento de efluentes industriais; intercomunicação com galerias pluviais, quando elevadas cargas hidráulicas nos tempos chuvosos podem danificar tais galerias; obstrução das galerias por lixo jogado em seu interior; etc.

Seja qual for a origem, dificilmente serão gerados indícios do vazamento em superfície, o que impossibilitará totalmente a sua detectação e, conseqüentemente, seu devido reparo. Muitas vezes, quando se detecta o problema, o vazamento já é muito antigo, sendo provável que o aqüífero já esteja contaminado em grau que variará em função das condicionantes já discutidas.

Trata-se, portanto, de uma contaminação caracteristicamente difusa, com todas as dificuldades para detectação que são inerentes a esse processo poluidor.

9.7.3.1. Áreas desatendidas por rede de esgotos

Essas áreas apresentam a principal característica responsável pela contaminação das águas subterrâneas: a presença sistemática de fossas negras ou secas, geralmente bem acima do nível freático.

O maior problema para essa pesquisa é encontrar uma captação de água subterrânea nessas áreas, seja através de poços tubulares, ou mesmo de cisternas ou poço amazonas. Ocorre que, sendo de 100% o atendimento de água por rede pública, não existe o menor interesse em captar água subterrânea, pois os níveis baixos exigem muito esforço no recalque dessa água, além do risco de estarem contaminadas.

Até mesmo as ligações clandestinas, caracterizando um quadro caótico na distribuição (foto 6.9), estão incluídas entre os atendimentos que chegam aos 100% de distribuição.

Em qualquer bairro periférico, onde as condições sociais são as mais precárias, incluindo as inúmeras favelas existentes, a resposta à pergunta sobre a existência de cisternas (termo mais conhecido nessa região para o poço amazonas) é sempre a mesma: não existe.

Ainda assim, foi possível detectar a presença de 5 (cinco) cisternas, além das duas já comentadas e situadas em áreas com rede de esgotos (uma no cemitério da Saudade e outra no posto de gasolina – Posto Anchieta – vista na foto 9.2.).

As cisternas encontradas localizam-se em bairros periféricos mal assistidos pelos serviços de saneamento, mas que possuem água encanada, razão pela qual se encontram todas desativadas. São localizadas na zona setentrional desse município, nas seguintes localidades descritas no Quadro 9.29: Céu Azul, Braunas, Jardim dos Comerciários e Solimões (distrito noroeste) e Paulo VI no distrito leste.

Nessas cisternas foi coletada água e procedidas as análises de nitrato e bacteriológica, visando observar a possibilidade de contaminação orgânica por serem os pontos de coleta situados nas proximidades de fossas negras.

Um dos problemas na investigação dessas captações é o desconhecimento que os moradores da região demonstram com relação a importantes dados com estas relacionados, como tempo de construção, época em que foi desativada, distância da fossa mais próxima, profundidade e eventual histórico sobre ocorrência de enfermidades, principalmente desinteria em criança, ocorrida no tempo em que era utilizada a água dessas cisternas.

Os resultados dessa pesquisa serão comentados no item 9.7.4.

9.7.3.2. Contaminação nas áreas marginais aos rios receptores de esgotos

Como já mencionado anteriormente, todos os esgotos da cidade são direcionados "in natura" até os cursos d'água superficiais, principalmente para a drenagem principal representada pelo Rio Arrudas e Ribeirão do Onça.

Esses esgotos transportam produtos das mais variadas atividades humanas, incluindo águas residuárias e dejetos humanos das residências, efluentes líquidos de indústrias e hospitais, chorume do aterro sanitário e necrochorume de cemitérios.

Pode-se assim ter uma idéia do grande teor de contaminação que possuem as águas dos cursos d'água que cortam essa cidade, a ponto de serem considerados os cursos d'água mais poluídos de todo o Estado de Minas Gerais (capítulo 2.3 e figura 2.5).

O problema para a contaminação das águas subterrâneas a partir da infiltração desses contaminantes ao longo do leito desses rios torna-se minimizado por serem todos os cursos d'água locais efluentes, ou seja, possuem seu nível d'água inferior ao nível da água subterrânea nas suas margens, recebendo sempre um fluxo efluente dos aqüíferos, através da descarga de base que garante suas perenidades ao longo de todo o ano.

Ainda assim, pode ocorrer uma inversão desse fluxo em duas situações distintas: pelo gradiente criado com o bombeamento de um poço localizado às margens desses cursos d'água; e pelo levantamento temporário do nível desses rios durante as chuvas mais intensas.

Como não foi localizado nenhum poço tubular à distância inferior a 100 m desses cursos d'água, foi descartada a primeira das possibilidades de contaminação acima comentadas, concentrando toda a pesquisa na segunda possibilidade.

Foram então construídos dois poços de monitoramento nas margens dos dois principais cursos d'água dessa cidade, conforme esquematizado na figura 9.13.

Nesses poços foram realizados testes de condutividade hidráulica, medido o nível freático antes e depois do período chuvoso e coletadas amostras para análises físico-químicas e bacteriológicas nas duas épocas acima referidas.

Os resultados dessa pesquisa serão comentados no item que se segue.

9.7.4. Resultados Obtidos

9.7.4.1. Áreas destituídas de rede de esgoto

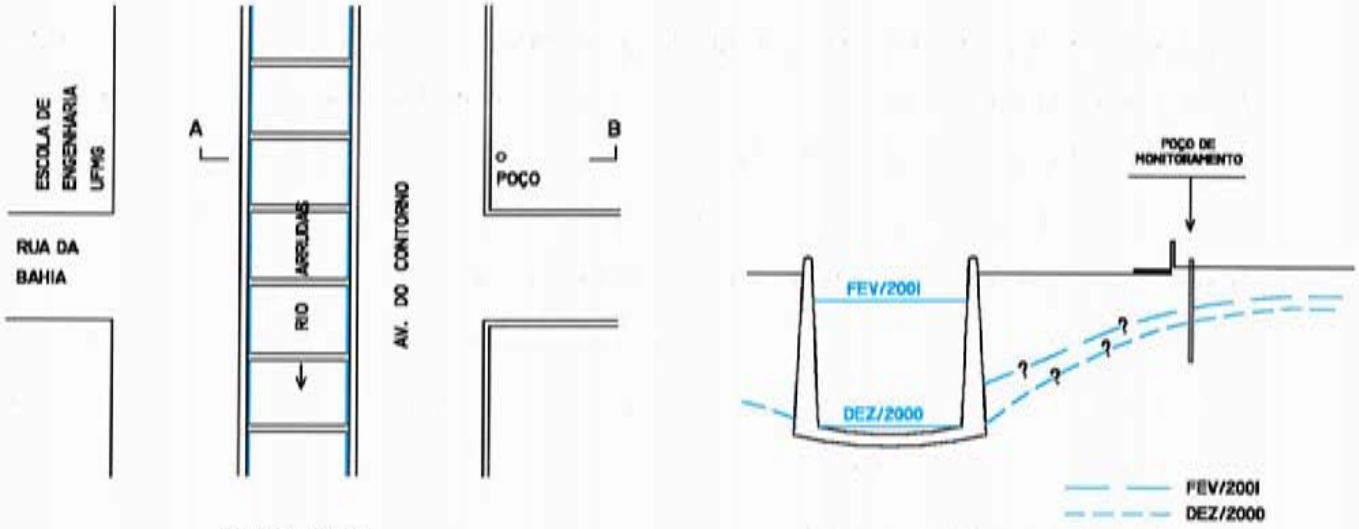
Os resultados da pesquisa nessa área não foram dos mais profícuos em função da reduzida amostragem e ausência de importantes dados básicos, conforme acima discutido, sendo resumido no Quadro 9.30 todo o resultado dessa pesquisa.

QUADRO 9.30 - CARACTERÍSTICAS DAS CAPTAÇÕES EM CISTERNAS

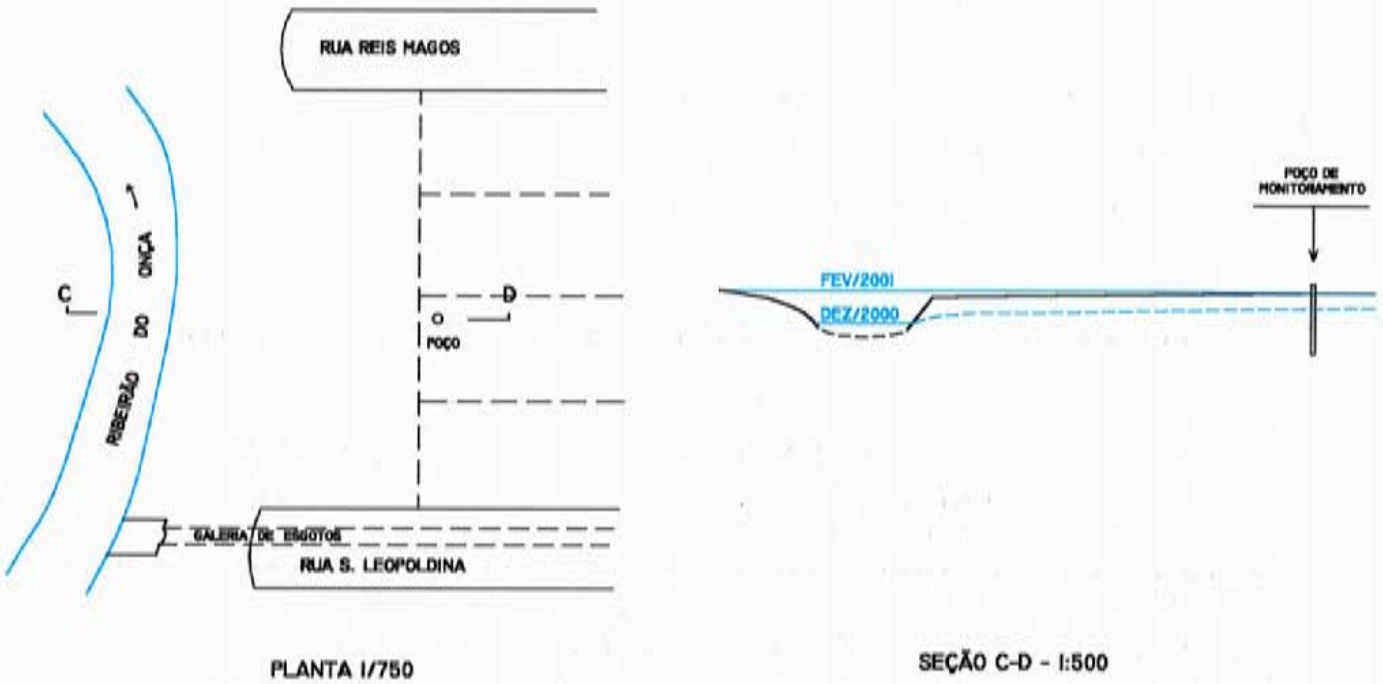
LOCAL	DADOS DA CISTERNA					ANÁLISES REALIZADAS			
	ANOS CONST.	ANOS DESAT.	PROF. m	NE	FOSSA PROX.m	NITRA-TO-mg/L	COL. TOT.	COL. FEC.	EST. FEC.
Céu Azul	D	D	D	9,20	D	8,80	60	0	2
Braunas	D	D	D	4,00	7	22,20	800	60	120
Jardim dos Comerc.	> 20	≈ 10	≈ 12	10,50	15	0,75	0	0	0
Solimões	≈ 30	≈ 10	8,0	3,80	D	8,50	30	23	68
Paulo VI	D	D	D	4,50	D	1,40	45	1	0

D = Desconhecido

Esses resultados mostram que as águas subterrâneas de quase todas as cisternas pesquisadas se encontram contaminadas por nitrato e bactérias, provavelmente relacionados a excrementos humanos migrados das fossas secas existentes em suas proximidades.



RIO ARRUDAS



RIBEIRÃO DO ONÇA

FIGURA 9.13

CONTROLE DA CONTAMINAÇÃO NAS MARGENS DE RIOS

Deve-se, contudo, observar que, malgrado a ausência de muitos dados, inclusive sobre a constituição do solo, pode-se constatar que a maior contaminação ocorreu quando o nível freático se encontrava mais elevado e a fossa mais próxima da cisterna, ocorrendo o contrário quando a situação era inversa.

Esses dados podem ser preocupantes para as áreas não atendidas por rede de esgotos, embora seja remota a possibilidade de utilização da água subterrânea para consumo humano nessas áreas em função do atendimento já existente com rede de água encanada em todas essas áreas.

9.7.4.2. Áreas marginais aos rios

A pesquisa concebida para os dois pontos marginais ao Rio Arrudas e Ribeirão do Onça, conforme ilustrado na figura 9.13, não obteve o êxito esperado por não ter sido possível avaliar a influência da elevação do nível d'água nos rios durante o período chuvoso sobre as águas subterrâneas ao longo de suas margens.

No Rio Arrudas, o revestimento de concreto que envolve toda a calha desse rio e o curto período em que o nível desse rio se manteve mais elevado impediram a esperada inversão de fluxo que tornasse esse rio temporariamente influente, como mostra o esquema da figura 9.13, o que foi comprovado pelos resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas apresentadas no Quadro 9.31.

No Ribeirão do Onça, a destruição total do poço de monitoramento pela proprietária do terreno em que foi instalado (apesar de sua concordância para a implantação desse poço) impediu que fosse coletada água nesse local, que chegou a ser inundado totalmente pelo extravasamento desse ribeirão no período chuvoso.

QUADRO 9.31 - ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E BACTERIOLÓGICAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS MARGINAIS AO RIO ARRUDAS E RIBEIRÃO DO ONÇA

PARÂMETRO ANALISADO	UNIDADE	LIMITTE CRÍTICO	RIO ARRUDAS		RIBEIRÃO DO ONÇA
			10.12.00	20.02.01	
pH	-	6-9 (2)	6,72	6,58	6,19
Turbidez	mg/L $PtCl_4$	5 (1)	25,00	15,00	2,00
Sólidos Dissolvidos	mg/L	1000 (1)	413,00	350,00	154,00
Sólidos Totais	mg/L	-	495,00	380,00	178,00

Cloretos	mg/L	250 (1)	16,00	18,00	14,50
Nitratos	"	10 (1)	2,33	1,80	0,67
Cálcio	"	-	111,00	75,00	18,60
Sódio	"	200 (1)	60,00	52,00	10,00
Potássio	"	-	10,00	7,00	2,50
Magnésio	"	-	6,40	7,50	5,40
Ag - Prata	"	0,010 (2)	0,01	0,01	< 0,01
Al - Alumínio	"	0,200 (1)	0,450	0,250	0,400
B - Boro	"	0,750 (2)	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Ba - Bario	"	0,700 (1)	0,500	0,350	0,28
Be - Berilo	"	0,100 (2)	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Bi - Bismuto	"	-	0,08	0,08	< 0,05
Cd - Cádmio	"	0,005 (1)	0,003	0,002	< 0,005
Co – Cobalto	"	0,200 (1)	0,03	0,04	< 0,01
Cr - Cromo	"	0,050 (1)	0,025	0,030	< 0,02
Cu – Cobre	"	2,000 (1)	0,08	0,06	< 0,01
Fe - Ferro	"	0,300 (1)	2,50	2,00	1,30
La - Latânio	"	-	0,19	0,17	< 0,05
Li - Lítio	"	2,500 (2)	0,06	0,05	< 0,02
Mn- Manganês	"	0,100 (1)	0,47	0,35	0,22
Mo- Molibdênio	"	-	0,29	0,30	< 0,01
Ni – Níquel	"	0,025 (2)	0,01	< 0,05	< 0,05
P - Fósforo	"	-	0,58	0,50	0,04
Pb – Chumbo	"	0,010 (1)	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Sc - Escândio	"	-	0,02	0,02	< 0,01
Si - Silício	"	-	7,23	6,75	< 0,05
Sn – Estanho	"	2,000 (2)	0,57	0,55	< 0,50
Sr - Estrôncio	"	-	0,72	0,70	0,34
Ti – Titânio	"	-	4,20	4,25	0,05
V - Vanádio	"	0,100 (2)	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Y - Ítrio	"	-	0,04	0,04	< 0,01
W - Tungsteno	"	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Zn – Zinco	"	0,180 (2)	0,05	0,03	0,03
Zr - Zircônio	"	-	1,30	1,20	< 0,01
Coliformes Totais	nmp/100 mL	0	5	6	7
Coliformes Fecais	nmp/100 mL	0	0	0	0
Estreptococus Fecais	nmp/100 mL	0	0	0	0

Limites críticos: (1) - Portaria nº 1469 do Ministério da Saúde (02.01.01)

(2) - Deliberação Normativa nº 010/86 do COPAM (Água Especial)

Números em vermelho: excedido o limite crítico

Serão comentados a seguir os resultados desse quadro separadamente para os dois locais pesquisados.

a) Rio Arrudas

Observa-se nesse quadro que as águas subterrâneas nesse local não apresentam indícios de contaminação, embora indiquem uma salinização um pouco superior à media das águas subterrâneas desse município, com um total de sólidos dissolvidos superior a 350 mg/L, quando a média de STD no Complexo Belo Horizonte é de 119,01 mg/L (Quadro 5.6). Dos metais presentes, apenas o alumínio, o ferro e o manganês apresentam um ligeiro excesso, como conseqüência, provavelmente, da decomposição de minerais ferromagnesianos das rochas locais, a exemplo do que foi observado na análise de indústrias e cemitérios.

A ligeira melhora entre quase todos os parâmetros físico-químicos entre as amostragens no período seco e chuvoso demonstra que a parcela infiltrada das chuvas promove uma maior diluição dos íons em solução na água subterrânea, além de não existir um contínuo aporte de sais nas proximidades desse ponto pesquisado.

b) Ribeirão do Onça

Apesar de somente ter sido realizada uma amostragem nesse local, pelo motivo já exposto, a qualidade da água subterrânea nas imediações desse córrego não é má. Tanto é baixa a salinização normal dessa água, com um total de 154,00 mg/L de sólidos dissolvidos, embora ainda superior à média desse parâmetro para essa litologia, como é insignificante a presença de metais pesados. Apenas o Fe, Mn e Al apresentaram um ligeiro excesso, o que pode ser creditado à lixiviação de produtos de decomposição das rochas locais, como foi acima mencionado.

Também não foi constatado nessa água qualquer indício de contaminação bacteriológica.

Deve-se ainda considerar que a diferença de nível entre o local amostrado e o leito do rio é de apenas 2,0 m, como mostrado na figura 9.13, o que facilita a inundação das margens desse córrego em todos os períodos chuvosos, ao contrário do que ocorre no Rio Arrudas, aonde essa diferença chega a 9,0 m.

É bem verdade que as indústrias mais poluentes situam-se na bacia hidrográfica do rio Arrudas, mas, ainda assim, existem algumas indústrias nessa bacia, além da contínua contribuição de esgotos como foi mostrado na foto 6.10.

9.7.5. Potencialidade de contaminação relacionada com o saneamento

A análise sobre a potencialidade de contaminação das águas subterrâneas de Belo Horizonte a partir das deficiências de saneamento básico será feita também separadamente para as duas fontes acima comentadas: áreas destituídas de rede de esgotos e áreas marginais aos rios.

a) Áreas destituídas de rede de esgotos

Foi comentado anteriormente que é muito difícil avaliar a potencialidade de contaminação em uma área que não dispõe de rede de esgotos, em função das várias condicionantes relacionadas com o problema, como natureza do solo, carga hidráulica, tipo de fossa, profundidade do nível freático etc.

Foster & Hirata (1993) propuseram avaliar o risco potencial de tal contaminação em função da extensão da rede coletora de esgotos e da densidade populacional, conforme indicado no Quadro 9.32.

Considerando apenas as áreas não atendidas por rede de esgotos, que equivale à cobertura mínima nessa classificação, observa-se que, de 51 comunidades (incluindo bairro, vila, aglomerado e favela) nessa situação, apenas 6 apresentam densidade populacional inferior a 100 hab/ha.

QUADRO 9.32 - RISCO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR DEFICIÊNCIA DE SANEAMENTO (Foster & Hirata, 1993)

DENSIDADE POPULACIONAL	COBERTURA DA REDE DE ESGOTOS		
	ALTA (>75%)	PARCIAL (25-75%)	MÍNIMA (<25%)
BAIXA (< 100 hab/ha)	REDUZIDA	MODERADA	MODERADA
MÉDIA (100 – 200 hab/ha)	MODERADA	MODERADA	ELEVADA
ALTA (> 200 hab/ha)	MODERADA	ELEVADA	ELEVADA

Assim, praticamente 90% dessas comunidades apresentam risco elevado de contaminação das águas subterrâneas e como grande parte localiza-se nas áreas periféricas correspondentes às cabeceiras de cursos d'água, é possível que a contaminação orgânica processada nessas áreas estenda-se para jusante e atinja inclusive áreas saneadas, dependendo do tipo de contaminação: os microorganismos não resistem a grandes percursos em regime anaeróbico, mas o nitrato pode atingir grandes extensões, embora sua concentração vá diminuindo com a diluição na água subterrânea.

b) Áreas marginais aos rios

Embora o regime hidrográfico desse município seja totalmente efluente, é possível que o revestimento de concreto da sua principal drenagem (Rio Arrudas) possa represar alguns contaminantes eventualmente infiltrados e que chegam até o aqüífero que flui em direção a esse rio.

Nesse caso existe a possibilidade de ser captada água subterrânea contaminada nas margens dessa drenagem por poços aí instalados, merecendo sempre uma pesquisa prévia antes de implantar uma captação de água subterrânea nas margens das principais drenagens desse município.

PARTE 3

ANÁLISE CONCLUSIVA

10. RISCO DE CONTAMINAÇÃO

10.1. CONCEITUAÇÃO

A análise de riscos sobre a influência perniciosa que um determinado evento ou atividade pode representar para o ser humano ou para o meio ambiente envolve a conceituação de termos como "perigo", "risco" e "segurança".

A conceituação desses termos nem sempre é correta, como pode ser facilmente constatado pelas definições encontradas no Dicionário Aurélio Buarque de Holanda Ferreira, um dos mais conceituados no Brasil, e que podem ser resumidas como segue:

Perigo é todo "estado em que alguma coisa se receia ou se tem medo", ou, juridicamente com sentido mais amplo, "situação de fato geradora de temor de uma lesão física ou moral a uma pessoa ou de uma ofensa a seus direitos".

Risco é a "probabilidade ou possibilidade de perigo".

Segurança é estar "completamente livre de perigos, medos ou receios".

Essas definições, além de considerar o *risco* como sinônimo de *perigo*, apresentam uma concepção errônea e enganosa sobre segurança, quando a relaciona à liberdade total de perigos ou de riscos, o que é totalmente inviável na natureza, pois não existe nenhuma atividade humana completamente livre de perigo. Assim, é inaceitável o conceito de *segurança absoluta*, pelo que, se deve caracterizar com a máxima clareza possível a diferenciação entre perigo e risco, para que se entenda o conceito de *segurança relativa.*

O ***perigo*** é uma situação que possa gerar danos, quer para o ser humano ou para o meio ambiente, constituindo-se numa propriedade intrínseca a um evento ou a uma substância. Assim, uma carreta transportando um produto químico representa um duplo perigo: o perigo relacionado com a possibilidade de vazamento desse produto em conseqüência de um acidente e o perigo representado pela toxidade do produto vazado.

O ***risco*** de um acidente envolvendo situações danosas ao homem ou ao meio ambiente é função direta dos seguintes fatores: perigo, probabilidade, exposição e conseqüências.

O *perigo*, como já visto, considera a propriedade intrínseca ao fato gerador, pelo que se faz necessário em cada caso avaliar o seu efeito potencial.

A *probabilidade* refere-se à freqüência com que tal acidente é passível de ocorrer em um determinado tempo (ano, mês, dia).

A *exposição* corresponde às formas de contato entre o agente gerador e o agente passivo, tanto em relação à quantidade, como em relação ao tempo.

As *conseqüências* correspondem à forma de reação do receptor em relação à ação geradora do perigo, podendo incluir danos físicos (doenças e morte) ou econômicos.

Assim, o risco é tanto maior quanto maior for o efeito potencial do agente causador do perigo, maior a freqüência com que for passível de ocorrer, maior for a exposição a que o agente passivo estiver sujeito e maiores forem as conseqüências desse perigo.

A ***segurança relativa*** é inversamente proporcional ao risco, sendo tão maior quanto menor for este.

Os acidentes envolvendo riscos podem apresentar efeitos *imediatos* ou *retardados.* Assim, a explosão provocada por um vazamento de combustíveis no subsolo é um efeito imediato, enquanto a contaminação que esse combustível vazado poderá provocar ao atingir as águas subterrâneas pode levar muito tempo, sendo, por conseguinte, um efeito retardado.

Essa diversidade de efeitos dificulta e até impede a caracterização da segurança das inúmeras atividades humanas, sendo na maior parte dos casos, impossível responder às seguintes perguntas:

- Como medir a segurança?
- Como determinar a segurança relativa de uma atividade?
- Quanto custa para aumentar a segurança de um empreendimento?

Essas dúvidas podem ser acrescidas por inúmeras incertezas relacionadas com o processo que integra qualquer acidente envolvendo riscos, desde o agente que originou o processo até a recepção pelo agente representado pelo homem ou pelo meio ambiente.

No caso específico de contaminação das águas subterrâneas, que interessa diretamente ao presente estudo, essas incertezas podem ser agrupadas em função da fonte de contaminação, da percolação do contaminante, da forma de captação da água subterrânea e da recepção pelo ser humano da água subterrânea.

Segundo Reichard et al (1990), as principais incertezas são as seguintes:

a) Incertezas relacionadas com a fonte de contaminação

- qual a fonte que liberou a carga contaminante?

- quando se iniciou essa liberação e quanto tempo durou?
- quais componentes foram liberados?
- qual a composição química dos componentes liberados?
- a liberação foi contínua ou intermitente? qual o volume liberado?
- quais as características de mobilidade e persistência dos contaminantes liberados?

b) Incertezas quanto ao caminho de percolação do contaminante

- a geologia do meio receptor está muito bem caracterizada?
- há boas informações sobre os parâmetros hidrodinâmicos do meio?
- quais os processos de atenuação que podem ocorrer com o contaminante?
- qual a proporção de degradação ou retardamento do contaminante?
- a pluma de contaminação está bem caracterizada?
- é possível quantificar a dispersão hidrodinâmica em função da heterogeneidade do meio?

c) Incertezas com relação à captação da água subterrânea

- o poço de captação está no sentido de propagação da pluma?
- que tipo de contaminante poderá chegar até o poço?
- qual a concentração do contaminante que chegará ao poço?
- quando o contaminante alcançará o poço?
- qual a proporção de diluição do contaminante até chegar ao poço?

d) Incertezas quanto à exposição

- a água do poço será usada para ingestão?
- qual a duração e continuidade da ingestão?
- qual a sensibilidade dos ingestores a determinados contaminantes?
- a água captada sofrerá algum tipo de tratamento antes de ingerida?
- qual a diluição e/ou tratamento que ocorrerá após o consumo?

Diante de tantas incertezas, muitas das quais não apresentam a mínima possibilidade de serem esclarecidas, faz-se necessário, além de avaliar os riscos envolvidos, gerenciá-los no sentido de aplicar a melhor solução que o caso requer.

Esse gerenciamento inclui a integração de conceitos variados na área social, política e financeira, considerando que o processo de remediação de uma contaminação é sempre muito oneroso e nem sempre eficaz, razão pela qual, pode ser mais recomendável evitar que a água subterrânea possa ser captada e consumida do que investido um elevado montante de recursos financeiros e

que no final persista ainda algum risco para o aqüífero tratado. Nesse caso, apenas foi reduzido o efeito potencial do perigo e aumentada um pouco a segurança relativa, mas o nível de risco pode ainda permanecer intolerável ou até inaceitável.

10.2. AVALIAÇÃO DO RISCO

A avaliação do risco de qualquer acidente que possa causar dano ao ser humano ou ao meio ambiente varia em função do nível de abordagem do problema.

No nível de ***investigação preliminar*** a avaliação varia desde puramente qualitativa até semi-quantitativa e corresponde aos estudos em caráter regional incluindo uma ou mais fontes de risco.

No nível de ***investigação detalhada*** essa avaliação é quantitativa, incluindo todos os fatores que influem na definição do risco (perigo, probabilidade, exposição e conseqüências). Essa investigação é sempre realizada quando o objeto do acidente está bem caracterizado e o estudo visa definir soluções para um problema já existente.

10.2.1. Nível de investigação preliminar

Este é o nível correspondente ao presente trabalho, onde várias fontes de risco são analisadas em uma vasta região (335,5 km^2), pelo que, não cabe detalhamento na avaliação dos riscos envolvidos.

Dos quatro componentes acima citados para a análise do risco, somente se faz necessário caracterizar nesse nível de abordagem o perigo e suas conseqüências, representadas pelas diferentes fontes de risco abordadas nesse estudo.

Na pesquisa que embasou o presente trabalho, o perigo é representado pelas diferentes cargas contaminantes caracterizadas no capitulo 9, bem como suas possíveis conseqüências para as águas subterrâneas dessa região que, no caso, constituem o agente receptor em termos de meio ambiente e agente transmissor com relação aos seus consumidores.

A avaliação do perigo existente em cada carga contaminante analisada levou em consideração o efeito potencial que as substâncias que integram tal contaminação poderiam representar em termos de saúde, segurança ou conseqüências ambientais.

Como foi visto no capítulo 9, a avaliação do perigo dessas cargas leva sempre à definição de padrões de aceitabilidade, onde são estabelecidos limites críticos além dos quais se torna iminente o risco de danos inaceitáveis à saúde. Esses limites correspondem, pois, à quantidade que uma determinada substância pode ser ingerida durante a vida sem causar danos significativos. Esse nível de risco torna-se mais exigente quando a substância é cancerígena, pois qualquer nível de exposição pode causar o mesmo efeito.

Por outro lado, a falta de elementos detalhados na fase de investigação preliminar torna ainda mais evidente a influência exercida pelas inúmeras incertezas relacionadas no item anterior, dificultando significantemente a avaliação do risco e impedindo uma quantificação dos parâmetros característicos de uma avaliação detalhada.

10.2.2. Nível de investigação detalhada

Embora não comporte no presente estudo nenhuma avaliação detalhada de risco, em função das peculiaridades dessa pesquisa, será apresentado um roteiro para tal investigação, pois todo trabalho em nível preliminar deve embasar estudos mais detalhados e localizados, em função de futuras demandas para melhor diagnosticar os impactos gerados pelas fontes de contaminação ora abordadas e indicar soluções remediativas para cada problema surgido.

O risco de um acidente, antes de avaliado, deve ser classificado em função das características de seus principais componentes.

Conforme citado no item anterior, o perigo de uma carga contaminante é controlado pelos padrões de aceitabilidade e conseqüente risco para cada substância presente nessa carga.

Assim, a análise de riscos complementa a caracterização do perigo através da classificação de cenários que levam em consideração a probabilidade de ocorrência (freqüência) e a severidade das conseqüências.

Para isso, pode ser utilizada a técnica APR (Análise Preliminar de Risco) recomendada pela AICLE (1987) e que teve origem na área militar, com a finalidade de possibilitar uma revisão nos novos sistemas de mísseis nos Estados Unidos.

Por tal análise, a ***freqüência*** de ocorrência de um determinado evento que implique em risco ambiental pode ser classificado segundo as categorias apresentadas no Quadro 10.1.

QUADRO 10.1 - CATEGORIAS DE FREQUÊNCIA DO ACIDENTE

CATEGORIA	DENOMINAÇÃO	FAIXA (OCOR./ANO)	DESCRIÇÃO
A	Remota	$F < 10^{-3}$	Não esperado ocorrer durante a vida útil da instalação
B	Improvável	$10^{-3} \leq F < 10^{-2}$	Improvável de ocorrer durante a vida útil da instalação
C	Provável	$10^{-2} \leq F < 10^{-1}$	Provável de ocorrer durante a vida útil da instalação
D	Freqüente	$F > 10^{-1}$	Esperado ocorrer pelo menos uma vez durante a vida útil da instalação

A severidade das conseqüências de um acidente pode ser enquadrada nas categorias apresentadas no Quadro 10.2.

QUADRO 10.2 - CATEGORIAS DA SEVERIDADE DAS CONSEQÜÊNCIAS

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
I – Desprezível	A falha não resultará em degradação maior do sistema, não sendo esperadas lesões, sendo desprezível o aumento de risco para o sistema.
II – Marginal ou Limítrofe	A falha irá degradar o sistema em uma certa extensão, porém sem comprometê-lo seriamente nem causar lesões graves.
III – Crítica	A falha causará danos substanciais ao sistema, provocando lesões e resultando em riscos inaceitáveis que requerem ações preventivas para impedi-los ou corretivas imediatas para repará-los.
IV - Catastrófica	A falha produzirá severa degradação ao sistema e ao meio ambiente, resultando em sua perda total, ou ainda, em lesões graves e/ou mortes, requerendo ações preventivas e/ou corretivas imediatas.

A **classificação do risco** pode ser obtida pela combinação das categorias de freqüência e severidade das conseqüências dos quadros acima, conforme indicado no Quadro 10.3.

QUADRO 10.3 - MATRIZ QUALITATIVA PARA CLASSIFICAÇÃO DOS RISCOS

VALOR DO RISCO	COMBINAÇÃO DAS CATEGORIAS
RISCO CRÍTICO	IV,D – IV,C – III,D
RISCO SÉRIO	IV,B – III,C – II,D
RISCO MODERADO	IV,A – III,B – II,C
RISCO BAIXO	III,A – II,B – I,C – I,D
RISCO DESPREZÍVEL	II,A – I,B – I,A

A **avaliação de risco** de acidentes envolvendo eventos que propiciem mais de uma hipótese acidental pode ser baseada na seguinte equação:

$$R = \frac{1}{N} \sum x_i f_i$$

Sendo: R = Risco total do evento

N = Número de pessoas expostas aos riscos, calculado com base na maior área atingida pelo acidente

f = Freqüência anual de um dado acidente

x = Número de mortes resultantes do acidente

i = Número de hipóteses acidentais

10.3. ZONEAMENTO DE RISCOS DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM BELO HORIZONTE

No item anterior foi demonstrado porque o nível do atual trabalho não comporta quantificação dos riscos envolvidos pelas cargas contaminantes presentes na região estudada, pelo que, apenas se faz necessário qualificar esses riscos em função do esquema proposto por Foster & Hirata (1993) e apresentado na figura 7.1.

A **vulnerabilidade do aqüífero**, que constitui um dos parâmetros qualificadores nesse esquema, foi classificada nesse trabalho segundo 4 categorias: fraca, média, forte e extrema.

Por outro lado, o **potencial das cargas contaminantes** analisadas nessa pesquisa foi classificado segundo as seguintes categorias: reduzido ou inexistente, moderado e elevado.

Cruzando-se essas classificações no modelo proposto por Foster & Hirata (1993), obtém-se o esquema de zoneamento apresentado na Figura 10.1.

POTENCIALIDADE DA CARGA CONTAMINANTE	VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO			
	FRACA	MÉDIA	FORTE	EXTREMA
REDUZIDA OU INEXISTENTE	I			
MODERADA		II	III	
ELEVADA				IV

FIGURA 10.1 - CLASSIFICAÇÃO DO RISCO À CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE BELO HORIZONTE

Os riscos assim determinados foram divididos em 4 categorias assim definidas:

I - Ausência de risco iminente
II - Riscos de pequenas proporções
III - Riscos de proporções médias
IV - Riscos de elevadas proporções

Os cuidados a observar na utilização da água subterrânea em cada uma das zonas acima classificadas são os seguintes:

Zona I - Não há cuidados a observar
Zona II - Necessário conhecer os dados existentes sobre contaminação nas proximidades do local previsto para captação da água subterrânea (raio de 100 m).
Zona III – Necessário investigar a qualidade da água subterrânea com poços exploratórios.
Zona IV - Evitar o consumo da água subterrânea.

Na figura 10.2, foi procedido o zoneamento do risco à contaminação das águas subterrâneas no município de Belo Horizonte, obedecendo aos critérios acima definidos.

Apesar de qualitativo, esse mapa mostra uma situação geral tranqüilizadora para as águas subterrâneas do município estudado, já que dominam nessa extensa área as zonas I e II, ou seja, com ausência de risco iminente e com riscos de pequenas proporções, respectivamente.

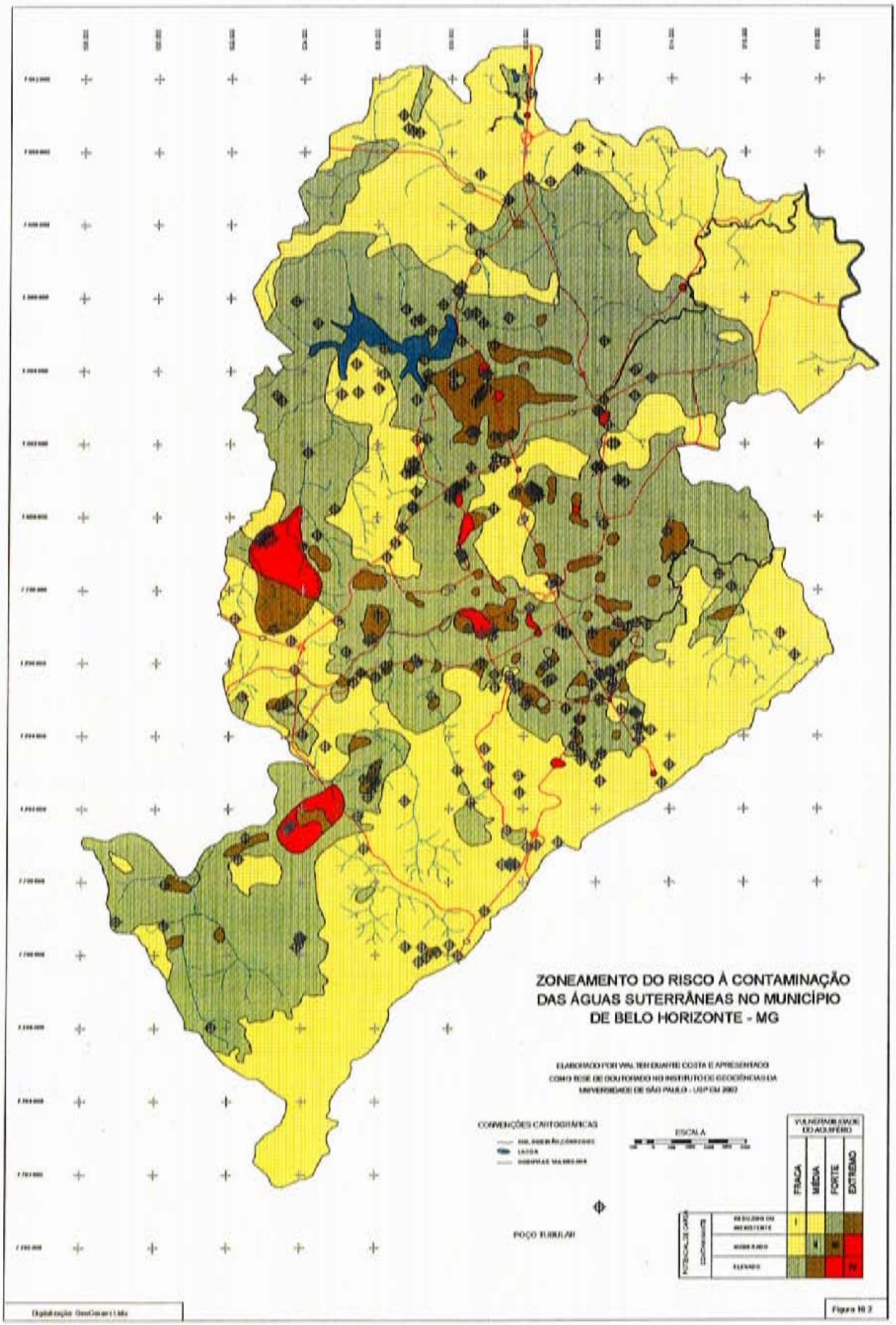
Note-se ainda que, as áreas de risco de elevadas proporções restringem-se a 11 manchas em todo o município, onde apenas duas delas apresentam grandes extensões e que são relacionadas com o aterro sanitário e com a indústria Manesman.

Apesar dessa situação aparentemente tranqüila, deve-se registrar que já existe um grande número de poços perfurados nas áreas de riscos de proporções médias a elevadas, como indicam os seguintes números:

- Zona I: 68 poços - 26%
- Zona II: 128 poços - 50%
- Zona III: 43 poços - 17%
- Zona IV: 19 poços - 7%

Observa-se desses números que, apesar de 76% dos poços não apresentarem evidências de estarem captando águas contaminadas, 24% desses poços são passíveis de induzir algum risco aos seus consumidores, principalmente os 19 poços perfurados na zona IV.

Se de um lado o risco iminente pode ser significantemente minimizado em muitos locais aparentemente perigosos, pelas condições intrínsecas de atenuação da zona vadosa, pela obstaculação à infiltração das águas pluviais e pelas inúmeras incertezas comentadas no presente trabalho, há que se considerar as probabilidades de contaminação existentes nos 302 postos de combustíveis veiculares ainda não investigados, dos quais, guardadas as mesmas proporções daqueles já investigados, 196 postos poderiam ser acrescidos aos 93 que já apresentaram algum risco de contaminação para as águas subterrâneas.


ZONEAMENTO DO RISCO À CONTAMINAÇÃO
DAS ÁGUAS SUTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO
DE BELO HORIZONTE - MG
ELABORADO POR WALTER DUARTE COSTA E APRESENTADO
COMO TESE DE DOUTORADO NO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP EM 2002
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS
ESCALA
POÇO TUBULAR
VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO
FRACA
MÉDIA
FORTE
EXTREMO
POTENCIALIDADE CARGA CONTAMINANTE
Digitalização: GeoCenter Ltda
Figura 10.2

11. O PROBLEMA JURÍDICO-INSTITUCIONAL

11.1. DIVERSIDADE DE ÓRGÃOS FISCALIZADORES

Um dos problemas que dificultam o controle e a fiscalização dos empreendimentos que podem causar contaminação das águas subterrâneas nesse município é a diversidade de órgãos ambientais e a falta de um melhor entrosamento entre os mesmos.

Em nível federal, existem o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, a Agência Nacional de Águas – ANA, a Agência Nacional do Petróleo – ANP, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente – IBAMA – e o Ministério da Saúde.

Em nível estadual, existem o Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, a Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM – e a Secretaria Estadual da Saúde.

Em nível municipal, existem o Conselho Municipal do Meio Ambiente – COMAM, a Secretaria Municipal do Meio Ambiente – SMMA – e a Secretaria Municipal de Saúde.

Todos esses órgãos têm poder de legislar sobre licenciamentos, embora a ANP não interfira no meio ambiente.

Algumas dessas legislações são conflitantes ou são repetitivas e nem sempre fixam competência para o controle e o monitoramento dos impactos ambientais.

Dois exemplos da falta de entrosamento entre esses órgãos foram citados nesse trabalho: o primeiro, com relação à empresa Manesman, que inexplicavelmente é a única indústria que não é controlada pela SMMA e sim pela FEAM; o segundo caso refere-se ao aterro sanitário, que apesar de ser de responsabilidade da SMMA foi licenciado ambientalmente pela FEAM.

Em conseqüência dessa falta de entrosamento, esse aterro sanitário não sofre atualmente a fiscalização de nenhum órgão ambiental, apesar de estar direcionando todo o efluente líquido gerado – chorume – sem qualquer tratamento nas cabeceiras de córregos que fluem para a Lagoa da Pampulha.

11.2. O CONTROLE AMBIENTAL EM BELO HORIZONTE

Os órgãos ambientais responsáveis pelo controle da poluição ambiental em Belo Horizonte são a Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM – e a Secretaria Municipal do Meio Ambiente – SMMA.

Esses órgãos têm competência para legislar, licenciar, fiscalizar e controlar todos os empreendimentos passíveis de impor quaisquer danos ao meio ambiente.

11.2.1. Legislação

Apesar da vinculação estadual e municipal dos órgãos acima mencionados, ambos aplicam no exercício da fiscalização, leis, decretos, deliberações e resoluções exaradas pelos três esferas do Poder Legislativo: federal, estadual e municipal.

11.2.1.1. Legislação Federal

Essa legislação inclui as Leis Federais e as Resoluções do CONAMA.

a) Leis Federais

Lei nº 9.478 de 06.08.97

Cria a Agência Nacional do Petróleo – ANP

Lei nº 9.847 de 26.10.99

Define a forma de fiscalização das atividades relativas ao abastecimento nacional de combustíveis de que trata a lei nº 9.478

Lei nº 9.966 de 26.04.00

Define as formas de Prevenção, Controle e Fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional.

Lei nº 9.984 de 17.07.00

Cria a Agência Nacional da Água – ANA

b) Resoluções do CONAMA

Nº 2/85 de 05.03.85

Define o Licenciamento de Atividades Potencialmente Poluidoras pelos órgãos estaduais.

Nº 6/88 de 15.06.88

Regulamenta o Licenciamento de obras de resíduos industriais perigosos

Nº 6/91 de 19.09.91

Regulamenta a incineração de resíduos sólidos provenientes de estabelecimentos de saúde, postos e aeroportos.

Nº 5/93 de 05.08.93

Regulamenta Definições, Classificações e Procedimentos para gerenciamento de resíduos sólidos oriundos de serviços de saúde, portos, aeroportos e terminais rodoviários e ferroviários.

Nº 273/00 de 29.11.00

Regulamenta o Licenciamento de postos revendedores, postos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas e postos flutuantes de combustíveis.

11.2.1.2. Legislação Estadual

Essa legislação inclui Leis Estaduais, Decretos Estaduais e Deliberações Normativas do COPAM.

a) Leis Estaduais

Lei nº 9.514 de 29.12.97

Cria o Conselho Estadual da Política Ambiental – COPAM

Lei nº 11.903 de 06.09.95

Cria a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentado

Lei nº 12.584 de 17.07.97

Transforma o Departamento de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais – DRH/MG no Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM.

b) Decretos Estaduais

Nº 22.658 de 06.01.83

Cria o Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM.

Nº 28.163 de 06.06.88

Cria a Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM

Nº 28.170 de 08.06.88

Cria o Departamento de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais – DRH/MG

c) Deliberações Normativas do COPAM

Nº 06/81 de 29.09.81

Lista as fontes de poluição de acordo com suas atividades

Nº 07/81 de 29.09.81

Regulamenta a Disposição de Resíduos Sólidos

Nº 08/81 de 29.09.81

Define as multas por infração à Lei nº 7772

Nº 10/86 de 16.12.86

Define Normas e Padrões para a qualidade da águas e lançamento de efluentes nas coleções de água.

Nº 02/90 de 20.12.90

Apresenta uma classificação de atividades segundo seu potencial poluidor

Nº 29/98 de 09.09.98

Estabelece a cooperação técnica e administrativa com os órgãos municipais do meio ambiente usando o licenciamento e a fiscalização de atividades de impacto ambiental local.

Nº 47/01 de 09.08.01

Estabelece novo limite para concentração de DQO para lançamento de efluentes líquidos gerados pelas indústrias têxteis nos corpos d'água.

Nº 49/01 de 28.09.01

Regulamenta o Controle Ambiental das indústrias não integradas de produção de ferro gusa em Minas Gerais.

Nº 50/01 de 28.11.01

Regulamenta o Licenciamento Ambiental de postos revendedores de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas e postos flutuantes de combustíveis.

Nº 52/01 de 14.12.01

Convoca municípios para o licenciamento ambiental de disposição final de lixo

11.2.1.3. Legislação Municipal

A legislação municipal inclui Leis Municipais, Deliberações Normativas do COMAM e Portarias da Secretaria Municipal da Saúde – SMS.

a) Leis Municipais

Lei nº 4.253 de 04.12.85

Cria o Conselho Municipal do Meio Ambiente do município de Belo Horizonte– COMAM

Lei nº 7.277 de 17.01.97

Institui a Licença Ambiental

b) Deliberações Normativas do COMAM

Nº 20/99 de 20.01.99

Inclusão de empreendimentos de impacto como acesso à Lei 7.277/97

Nº 25/99 de 23.09.99

Estabelece normas específicas para o Licenciamento Ambiental das atividades relacionadas na DN 20/99

Nº 32/00 de 13.09.00

Inclui os estabelecimentos revendedores de combustíveis veiculares na relação de empreendimentos de impacto e dá outras providências.

c) Portaria da SMS

Nº 01/01 de 26.12.01

Dispõe sobre Norma Técnica Especial que disciplina a instalação e o funcionamento de Agências Funerárias, Velórios, Necrotérios, Salas de Necropsias, Sala de Anatomia Patológica, Cemitérios e demais estabelecimentos congêneres instalados no município de Belo Horizonte.

11.2.2. Licenciamento

Com exceção das participações da FEAM no controle ambiental nesse município, já referidas anteriormente, todo o licenciamento ambiental é expedido pela SMMA.

Conforme citado no item anterior, somente em janeiro de 1997 (Lei nº 7.277/97) foi instituída a Licença Ambiental nesse município, o que significa dizer que, todos os empreendimentos potencialmente poluidores estavam completamente livres de qualquer controle ambiental antes dessa data.

Mesmo depois de criada essa lei, permaneceu por mais de um ano o impasse sobre a sua competência em função de ser o controle ambiental de todo o Estado de responsabilidade da FEAM.

Somente em 09.09.98 (19 meses depois) o COPAM emitiu a DN nº 29/98 que delegava aos órgãos municipais a competência de licenciar e fiscalizar as atividades geradoras de impacto ambiental.

Ainda assim, está previsto no Art. 7º dessa deliberação normativa que: "não serão objeto de licenciamento pelos municípios as atividades cujos impactos ambientais diretos ultrapassem seus respectivos limites territoriais".

Provavelmente foi esse artigo que levou a FEAM a responsabilizar-se pela indústria Manesman, conforme já citado, embora tal justificativa não proceda, pois todas as demais indústrias direcionam seus efluentes líquidos para as galerias de esgotos e daí para os cursos d'água locais, contaminando os corpos hídricos que cortam vários outros municípios, não sendo tal "privilégio" exclusividade da Manesman. Por outro lado, o aterro sanitário lança seu chorume poluidor nas cabeceiras de cursos d'água que drenam exclusivamente o município de Belo Horizonte, o que não justificaria seu licenciamento pela FEAM com base nessa deliberação normativa.

Deve-se ainda considerar que a aplicação da Lei nº 7.277/97 ficou dependendo da normalização de procedimentos aplicáveis a cada tipo de empreendimento classificado como poluidor, o que somente começou a ser feito a partir de 1999, através das deliberações normativas do COMAM.

Assim, apenas duas das atividades consideradas no presente trabalho como passíveis de impactar o meio ambiente, especificamente através da contaminação das águas subterrâneas, tiveram normalizados os procedimentos para licenciamento: indústrias, através da DN nº 25/99 de 23.09.99 e postos de combustíveis veiculares, através da DN nº 32/00 de 13.09.00 (Anexos 5.2 e 5.3).

Permanecem sem condições de licenciamento por falta de normalização atividades como cemitérios e hospitais. O aterro sanitário foi licenciado pela FEAM.

A vantagem de ficar o licenciamento das atividades poluidoras sob a responsabilidade do órgão ambiental municipal é a possibilidade de condicionar a concessão do Alvará de Funcionamento, também expedido pela Prefeitura Municipal, à obtenção da Licença Ambiental.

Conforme pode ser observado nos Anexos 5.2 e 5.3, as atividades já normalizadas devem ser licenciadas de uma das seguintes formas: Licença Preventiva, que inclui as licenças Prévia (LP), de Implantação (LI) e de Operação (LO) para todo empreendimento a se instalar; e Licença Corretiva, que inclui a Licença de Operação Corretiva para os empreendimentos já instalados anteriormente à Lei.

11.2.3. Fiscalização

A fiscalização das atividades poluidoras também ficou oficialmente sob a responsabilidade da SMMA em Belo Horizonte a partir de setembro/98 (DN nº 29/98 do COPAM).

O grande problema com relação à efetivação dessa fiscalização está relacionado aos impactos causados às águas subterrâneas através da contaminação pelas mais variadas fontes poluidoras, pois a falta de uma equipe especializada contando com hidrogeólogo experiente tem criado os problemas já referidos no item 9.2 do presente.

Também a falta de recursos e de infra-estrutura, como veículos, equipamentos e laboratórios, impede uma maior eficiência na atuação da equipe de fiscalização.

Finalmente, a falta de legislação sobre algumas das atividades poluidoras impede a ação fiscalizadora do órgão municipal, como, por exemplo, sobre cemitérios, hospitais e aterro

sanitário. Para esse último, somente existe regulamentação que possibilite uma fiscalização em nível estadual, através da Deliberação Normativa nº 07/81 do COPAM, pelo que a fiscalização dos impactos ambientais provocados pelo aterro sanitário de Belo Horizonte deveria ser exercida pela FEAM, o que de fato não ocorre.

11.2.4. Controle e Monitoramento

Toda a fiscalização exercida pelos órgãos ambientais – municipal e estadual – tem se restringido a acompanhar os estudos exigidos para o licenciamento dos estabelecimentos poluidores nas áreas relacionadas com indústrias e postos de combustíveis veiculares.

Ainda não existe qualquer planejamento nesses órgãos para um monitoramento dos aqüíferos passíveis de contaminação, tanto nas duas áreas acima citadas, como em outras em que a contaminação já é do pleno conhecimento desses órgãos, como cemitérios e aterro sanitário.

É possível que as deficiências constatadas tanto em nível de fiscalização, como de controle e monitoramento, decorram dos seguintes fatos:

- pouco tempo em que foi oficializado o controle ambiental em Belo Horizonte;
- deficiências da equipe técnica;
- desconhecimento do risco de contaminação das águas subterrâneas e das formas de sua detectação.

11.3. PUNIÇÕES

Outro problema que dificulta a aplicação severa das leis ambientais nesse município é a falta de punição que desestimule a prática de danos ambientais evitáveis.

A Lei nº 4.253/85 que criou o COMAM prevê em seu Art.14, inciso V, como atribuição do COMAM: "decidir em segunda e última instância administrativa, sobre a concessão de licença e a aplicação de penalidades previstas nesta Lei e sua regulamentação" Porém, em nenhuma parte dessa lei são encontradas as tais "penalidades previstas".

A Lei nº 7.277/97 modifica o Art. 14 da lei anterior, que passa a ter a seguinte redação: ...."decidir sobre a outorga da Licença Ambiental, nos termos da lei específica, e, em segunda instância administrativa, sobre os casos que dependem da Secretaria Municipal do Meio Ambiente, bem como, em todos os casos, decidir em grau de recurso quando da aplicação de penalidades previstas na legislação ambiente" (o grifo é nosso).

Nota-se, assim, que são sempre evitadas as definições sobre as penalidades cabíveis para os infratores, numa implícita intenção de amenizar a infração ou até mesmo ignorá-la.

A falta de definição de penalidades específicas para cada caso prossegue nas Deliberações Normativas que regulamentam a aplicação das leis supra referidas. A DN 25/99, que regulamenta as atividades industriais e a DN 32/00 que regulamenta os postos de combustíveis veiculares sequer citam o termo penalidade.

Até mesmo a liberação do Alvará de Funcionamento tem sido concedido em caráter temporário (1 a 2 anos) passíveis de renovação, pela SMMA, sem que seja realizada qualquer investigação ambiental.

A única penalidade imposta pela SMMA é a vinculação do Alvará de Funcionamento à Licença Ambiental, porém não sendo aplicadas multas para a falta dessas licenças o problema vai sempre sendo postergado, ficando restrito ao interregno das negociações representadas por uma infindável troca de correspondências, onde muitas ameaças são feitas, mas nenhuma punição é realmente aplicada.

12. SÍNTESE CONCLUSIVA

Nesse capítulo serão sintetizadas as conclusões julgadas mais significativas do estudo consubstanciado no presente trabalho, em função dos objetos propostos para a pesquisa realizada.

A abordagem será procedida separadamente por assunto, na mesma ordem com que os mesmos foram analisados no presente relatório.

12.1. FISIOGRAFIA

- O clima não varia significantemente ao longo da área estudada, mas caracteriza-se por uma precipitação pluviométrica elevada (média de 1.491 mm/ano) concentrada no verão, limitando ao período novembro/março as condições para que a parcela infiltrada das águas pluviais atinja o nível freático dos aqüíferos locais. Ainda assim, as taxas de infiltração aliadas às temperaturas regionais conferem condições favoráveis a um pronunciado intemperismo químico das rochas locais.
- A área pesquisada possui 85% de sua extensão com declividades fracas a médias (entre 5 e 20%), sendo desprezíveis as declividades inferiores a 5% (1,78%) ou superiores a 20% (12,31%).
- A drenagem que corta todo o município é totalmente efluente.

12.2. GEOLOGIA

- A área estudada é constituída em cerca de 70% de sua extensão por um complexo de rochas arqueanas (Complexo Belo Horizonte), dominada por gnaisses e migmatitos, complementado por um conjunto de rochas metavulcano-sedimentares que integram o Supergrupo Minas, do Proterozóico inferior, constituído por xistos, filitos, calcários, dolomitos, quartzitos e itabiritos.
- O predomínio de feldspato e máficos nas rochas locais, aliado às condições climáticas, favorecem a formação de solos residuais muito espessos, que podem atingir mais de 100 m em alguns locais.

- As estruturas mais importantes são representadas pela xistosidade dos metamorfitos, que varia na faixa N30°-70°E, pelas fraturas tracionais na faixa N20°-70°W e pelas fraturas de cisalhamento e falhas, variando entre 340° e 10° azimutes.

12.3. HIDROGEOLOGIA

- A área pesquisada inclui dois tipos de aqüíferos – *granular*, representado pelo solo de cobertura e *fissural*, representado pelas rochas pré-cambrianas – que se interconectam formando um sistema integrado do tipo ***livre.***
- O trecho mais superior do solo de cobertura apresenta condutividade hidráulica variando desde $4,2 \times 10^{-5}$ cm/s até $6,0 \times 10^{-4}$ cm/s.
- As características do solo de cobertura aliadas às condições de interceptação de fraturas (dificultada pela falta de opções que geralmente dispõe o proprietário do poço perfurado) e às características de grande parte das estruturas geológicas locais (fraturas pouco abertas, muito espaçadas e pouco penetrativas) conferem uma potencialidade baixa aos aqüíferos locais, representada por uma capacidade específica média de 0,067 L/s.m, inferior às médias de todo o Estado de Minas Gerais (0,299 L/s.m) e até mesmo às médias obtidas em poços do nordeste brasileiro (0,149 L/s.m na Paraíba e Rio Grande do Norte).
- As reservas permanentes dos aqüíferos nesse município foram estimadas em 1,677 bilhões de metros cúbicos, sendo o consumo médio anual estimado em torno de 6 milhões de metros cúbicos, com uma recarga média anual estimada em 11,239 milhões de metros cúbicos. É, portanto, tranqüila a situação de explotação das águas subterrâneas nesse município, principalmente por não ser esperado um grande incremento de consumo desse recurso hídrico a médio prazo.

12.4. HIDROQUÍMICA

- As condições climáticas e morfológicas regionais propiciam uma contínua renovação das águas subterrâneas locais, impedindo sua progressiva salinização pela dissolução dos minerais ao longo dos planos de fratura. Em conseqüência, é muito boa a qualidade dessas águas, que apresentam uma média para os sólidos totais dissolvidos de 116,78

mg/L, inferior à média em todo o Estado (259,96 mg/L) e muito inferior à média obtida nos poços do nordeste brasileiro (2.281,28 mg/L nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba).

- Existe uma grande semelhança na composição química das águas desse município, independentemente da litologia em que se encontram armazenadas. Todas as águas dessa região podem ser classificadas como bicarbonatadas mistas, de ambiente bicarbonatado cálcico-magnesiano.
- Em função de sua qualidade, essas águas subterrâneas podem ser consumidas para qualquer finalidade, inexistindo qualquer restrição para o consumo humano e para irrigação, com apenas isoladas e localizadas restrições para alguns tipos de indústrias.

12.5. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

- O município de Belo Horizonte possui 76,6% de sua extensão ocupada por residências e prédios comerciais e industriais, ficando restritas apenas a 23,4% as áreas verdes e os corpos hídricos superficiais.
- Em cerca de 50% da área ocupada, predominam os edifícios, tanto residenciais como comerciais, onde as condições de infiltração das águas pluviais são muito dificultadas pela ausência de solo exposto ou de áreas verdes. Essa dificuldade não influi muito na recarga dos aqüíferos, mas aumenta a obstaculação para o acesso de contaminantes a partir da superfície, ou mesmo sua percolação na zona vadosa, uma vez conseqüentes de vazamentos subterrâneos.

12.6. VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

- A declividade inferior a 20% em 87% da extensão da área pesquisada constitui um fator adverso na caracterização da vulnerabilidade dos aqüíferos locais.
- A condutividade hidráulica no trecho mais superior (2 primeiros metros) dos solos que constituem a zona vadosa em 95% dos poços estudados varia entre 10^{-4} cm/s e 10^{-5} cm/s, o que também não constitui um fator favorável à vulnerabilidade desses aqüíferos.

- Em 50% dos poços estudados o nível freático acha-se com profundidade inferior a 10 m, tendo praticamente a metade desses poços profundidade inferior a 5 m para esse nível, condição altamente desfavorável na caracterização da vulnerabilidade desses aqüíferos.
- Em função dos fatores adversos acima referidos, a vulnerabilidade à contaminação dos aqüíferos de Belo Horizonte varia entre ***média*** e ***alta*** aproximadamente nas mesmas proporções, embora as áreas de alta vulnerabilidade correspondam à zona mais central, onde a ocupação antrópica é mais intensa. É nessa região que a vulnerabilidade atinge o nível ***extremo*** em 12 locais diferentes, com extensões variáveis desde 0,08 km^2 até 4,0 km^2.
- A maior parte do município de Belo Horizonte apresenta aqüíferos susceptíveis a quase todos contaminantes, sendo as chances de evitar qualquer tipo de contaminação relacionadas com:
  - dificuldades impostas pela obstaculação desses contaminantes no subsolo;
  - presença localizada de maior teor de argila na zona vadosa;
  - processos de atenuação passíveis de ocorrer na zona vadosa;
  - condições heterogêneas de infiltração, ao longo do tempo, das águas pluviais em função das características climáticas locais.

12.7. CARGAS CONTAMINANTES

a) Postos de distribuição de combustíveis veiculares

- Dos 444 postos de combustíveis cadastrados, apenas 21 (4,7 %) efetuaram investigação ambiental visando avaliar a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas.
- Considerando os resultados das investigações ambientais, a idade do posto ou de seus tanques quando não investigado ambientalmente e a ocorrência comprovada de vazamentos, os postos distribuidores de combustíveis veiculares de Belo Horizonte apresentam a seguinte classificação quanto à potencialidade de contaminação dos aqüíferos locais:
  - potencialidade reduzida: 35%
  - potencialidade moderada: 57%
  - potencialidade elevada: 8%

Como a potencialidade moderada já implica em um razoável risco de estar o aqüífero contaminado, pode-se ter 65% de possibilidade de contaminação para os postos cuja situação já é conhecida. Se for extrapolado esse índice para o total dos postos cadastrados, chega-se ao alarmante número de 288 postos de combustíveis com chances de já estar contaminando os aqüíferos de Belo Horizonte.

- Os postos classificados como de potencialidade moderada a elevada estão localizados em cerca de 85% dos casos nas áreas de vulnerabilidade elevada a extremamente elevada, aumentando o risco que tais postos de combustíveis possam representar para a integridade desses aqüíferos.
- A investigação ambiental realizada nos postos de combustíveis desse município tem sido conduzida de forma muito deficiente, sendo constatados erros ou deficiências em 50% dos processos por nós analisados, sendo as seguintes as principais falhas dessas investigações:
  - preocupação única em avaliar o risco de contaminação dos trabalhadores do posto, ficando relegada a segundo plano a contaminação do aqüífero;
  - programação deficiente com risco muitas vezes de provocar a contaminação do aqüífero, por executar sondagens no pico da pluma de voláteis. Também tem sido precário o número de sondagens e a sua profundidade, deixando algumas vezes de atingir o nível freático por 1 ou 2 metros;
  - relatório com conclusões incoerentes e baseadas em dados inconsistentes, deixando muitas vezes de recomendar a remediação do aqüífero mesmo comprovada a sua contaminação;
  - deficiência da fiscalização, que não impede de serem mal conduzidas as programações deficientes e ainda aceita relatórios inconclusos;
  - falta de maior flexibilidade da fiscalização quanto à observância do limite da área a investigar, deixando às vezes de perscrutar a possibilidade de estar a pluma contaminante ameaçando indústrias que utilizam, nas proximidades de um posto contaminado, a água subterrânea para o fabrico de bebidas ou alimentos.

b) Indústrias

- No município de Belo Horizonte existem 1076 indústrias tendencialmente poluentes, mas apenas dois acidentes com contaminação foram constatados na presente pesquisa, o que mostra ser bem menor o risco de contaminação desse tipo de atividade em relação aos postos de distribuição de combustíveis.
- Numa classificação que levou em consideração as características dos efluentes, as indústrias foram divididas em 5 (cinco) categorias de A a E na ordem decrescente de potencialidade de poluição. Através de uma amostragem representativa dessa potencialidade, foram analisadas 69 indústrias, chegando-se aos seguintes percentuais para as indústrias desse município: Classe A = 19%; Classe B = 9%; Classe C = 29%; Classe D = 7%; e Classe E = 36%. As indústrias incluídas na Classe A (mais poluentes), embora em número reduzido, representam, em média, 86% das piores características de poluição industrial nesse município.
- As indústrias mais poluentes distribuem-se nos seguintes setores: produtos alimentícios = 31%; têxtil = 31%; metalurgia = 23%; bebidas = 15%.
- Os principais poluentes industriais são representados pela contaminação orgânica (elevados teores de DBO_5 e DQO), metais pesados (Pb, Zn, Cu, Ni e Cr) e cianetos, fenóis e sulfatos.
- Todos os efluentes líquidos, além das águas que percolam superficialmente sobre pilhas de resíduos sólidos, são direcionados às galerias de esgoto que os vertem na drenagem superficial desse município.
- A Indústria Manesman S.A. é a maior poluidora desse município, estando já comprovada a contaminação das águas subterrâneas ao longo de sua extensa área de ocupação (2,89 km^2) através de cloretos, sulfatos, fenois e dos metais Al, Ba, Cd, Cr, Fe, Mn e Pb.
- Das indústrias amostradas, 71% localiza-se em áreas de vulnerabilidade elevada a extremamente elevada; as indústrias consideradas como de maior risco para os aqüíferos, ou seja, classificadas como A e B, localizam-se em 84% dos casos em áreas de vulnerabilidade elevada a extremamente elevada.
- A fiscalização tem se mostrado ineficiente no controle das indústrias mais poluentes, principalmente naquelas que impõem maior risco de contaminação das águas subterrâneas e de seus consumidores.

c) Depósitos de Resíduos Sólidos

- Todos os resíduos sólidos do município de Belo Horizonte, numa produção média diária de 4.500 ton são direcionados ao Aterro Sanitário, que recebe sem qualquer tipo de seleção o lixo proveniente de residências e hospitais, além de resíduos industriais. Embora concentrado em um só lugar, esses resíduos ocupam uma área com extensão de 143 ha (1,43 km^2).
- O chorume proveniente desse aterro é direcionado "in natura" às cabeceiras de córregos que se dirigem para a Lagoa da Pampulha, podendo nesse caminho se infiltrar para contaminar os aqüíferos locais. Esse chorume apresenta elevadas concentrações de metais, principalmente Cd, Pb, Fe e Ni, contaminação orgânica (elevadas faixas de DBO_5 e DQO e baixo teor de oxigênio dissolvido), além de contaminação bacteriológica (coliformes fecais e estreptococus fecais)

d) Cemitérios

- Os 6 cemitérios existentes na cidade ocupam em conjunto uma extensão de 935.000 m^2 (menos de 1 km^2).
- Desses cemitérios, dois apresentam maior risco de contaminação em função de suas especificidades e das condições de vulnerabilidade do aqüífero nesses locais. São os cemitérios da Paz e da Saudade.
- O cemitério da Paz é o que apresenta maiores problemas de contaminação às águas subterrâneas, com elevada contaminação bacteriológica proveniente da decomposição dos cadáveres (coliformes fecais, estreptococus fecais e clostridium); grande excesso de carbonato de cálcio proveniente da cal com que são pintadas as covas; e excesso de metais provenientes dos vernizes e guarnições dos ataúdes, destacando-se os seguintes: Al, Cd, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn.
- O cemitério da Saudade revelou uma contaminação insignificante das águas subterrâneas locais, com ênfase para o chumbo entre os metais e de coliformes fecais como contaminação bacteriológica.

e) Hospitais

- A falta de poço tubular nos hospitais impediu a avaliação mais precisa das possibilidades de contaminação das águas subterrâneas pela influência dos resíduos sólidos e efluentes líquidos emanados desses estabelecimentos.
- A caracterização do ambiente hospitalar, principalmente com relação à guarda temporária dos resíduos sólidos e ao direcionamento dos efluentes líquidos, não deixou antever qualquer evidência de contaminação das águas subterrâneas no entorno desses estabelecimentos.

f) Saneamento Básico

- O risco de contaminação das águas subterrâneas, relacionado com o saneamento básico, inclui três situações: áreas desatendidas por rede de esgotos; vazamentos ao longo das galerias de esgotos; e infiltração ao longo dos cursos d'água que recebem esses esgotos.
- Em Belo Horizonte 9% da população não possuem atendimento por rede de esgotos, embora essa população esteja concentrada em uma área correspondente apenas a 1% desse município, o que confere uma densidade populacional de 387 hab/ha na área desassistida de rede de esgotos contra apenas 64,80 hab/ha no restante do município. Nessas áreas, a existência de fossas negras e o direcionamento dos esgotos para valas rasas provocam por infiltração a contaminação da água subterrânea.
- Vazamentos ao longo de galerias de esgotos são extremamente difíceis de ser constatados a não ser com a existência de poços de monitoramento, o que é totalmente inviável para uma área com a extensão do município estudado.
- Considerando que toda a drenagem superficial nesse município é efluente, qualquer contaminação da água subterrânea a partir da infiltração das águas poluídas dos rios e córregos locais somente seria captada por um poço tubular se o mesmo estivesse localizado às margens dessas drenagens. Nesse caso, o bombeamento do poço poderia inverter o gradiente natural das águas subterrâneas, captando as impurezas contidas nas águas superficiais.

12.8. RISCOS DE CONTAMINAÇÃO

- No nível de investigação preliminar que caracterizou o presente trabalho, a avaliação de risco somente comporta uma análise qualitativa a partir da combinação entre as cargas contaminantes e a vulnerabilidade do aqüífero.
- Por tal avaliação, a área pesquisada foi dividida em 4 zonas: I – zona com ausência de riscos; II – zona com riscos de pequenas proporções; III – zona com riscos de proporções médias; IV – zona com risco de elevadas proporções. Dominam nessa área as zonas I e II, sendo reduzida a participação das zonas III e IV.
- Nas zonas III e IV já existem 62 poços tubulares instalados, sendo maior o risco de contaminação para os 19 poços abertos na zona IV.
- Essa situação de risco pode variar para melhor ou para pior no município estudado. Para melhor, representaria a influência exercida pelos seguintes fatores: condições de maior atenuação localizada na zona vadosa; obstaculação à infiltração dos solutos e das águas pluviais; incertezas no processo acidente → transporte → recepção → conseqüências. Para pior, representam as possibilidades de contaminação propiciada pelos 302 postos de combustíveis ainda não investigados.

12.9. ASPECTOS LIGADOS À LEGISLAÇÃO

- O controle dos impactos ambientais causados pelas diferentes atividades antrópicas no município de Belo Horizonte é muito recente, limitando-se às duas últimas décadas. Assim é que, em nível federal, a primeira regulamentação relacionada com as cargas contaminantes presentemente analisadas surgiu em 1988 (Resolução 6/88 do CONAMA); em nível estadual, a primeira regulamentação surgiu em 1981 (Deliberações Normativas nº 07 e 08 do COPAM); e em nível municipal, somente em 1999 surgiu a primeira regulamentação (Deliberação Normativa nº 25/99 do COPAM).
- Entre as atividades geradoras de cargas contaminantes analisadas, a Indústria Manesman foi o primeiro empreendimento a ser licenciado (em 1997), vindo depois o Aterro Sanitário, em 1998 e somente em 2001 o primeiro posto de combustíveis. Nenhum cemitério foi licenciado, o mesmo acontecendo em relação aos hospitais.

- Somente a partir de 1998 foi delegada pelo Estado, competência ao Município para legislar e fiscalizar as atividades consideradas poluidoras para o meio ambiente, porém ainda persiste a dualidade de atuação desses órgãos ambientais nesse município, dificultando a definição de responsabilidades para tal atuação.
- Cuidado específico sobre a contaminação de água subterrânea somente existe na Deliberação Normativa nº 32/00 do COMAM, com relação à contaminação por estabelecimentos revendedores de combustíveis veiculares.

12.10 CONCLUSÕES FINAIS

O diagnóstico das condições de uso e preservação das águas subterrâneas no município de Belo Horizonte, procedido no presente trabalho, pôs em evidência uma flagrante deficiência em termos de gestão dos recursos hídricos por parte dos órgãos públicos locais.

Inexiste uma centralização no gerenciamento integrado desses recursos, que permita definir políticas de uso e preservação das águas, sobretudo com relação às águas subterrâneas, que têm sido sensivelmente relegadas a plano secundário em função das facilidades propiciadas pela utilização das águas superficiais.

Por outro lado, a falta de um melhor disciplinamento sobre a legislação ambiental, nos diversos níveis de aplicação, tem impedido um eficaz controle sobre importantes veículos de contaminação desses recursos, ensejando o surgimento de áreas onde a potencialidade de riscos é, não apenas muito variável, mas, sobretudo, pouco conhecida.

A deficiência nessa gestão reflete-se na ausência de medidas preventivas, visando evitar o mau uso dos mananciais e impedir a sua degradação, com o risco de comprometer a sua futura utilização.

13. RECOMENDAÇÕES

As recomendações que se seguem já foram em parte direcionadas aos órgãos ambientais a título de colaboração, em contrapartida pela colaboração desses órgãos ao cederem os dados que subsidiaram a presente pesquisa.

Serão feitas algumas recomendações gerais e outras específicas para cada carga contaminante pesquisada.

13.1. RECOMENDAÇÕES GERAIS

- Deve haver uma definição clara e precisa por parte dos órgãos ambientais nos diferentes níveis sobre as atribuições de licenciamento e fiscalização a serem exercidas nos estabelecimentos responsáveis pela degradação ambiental e risco à saúde dos habitantes do município de Belo Horizonte
- Todos os órgãos ambientais que atuam nesse município deveriam possuir em seus quadros técnicos pelo menos um hidrogeólogo com conhecimento dos processos de contaminação e de descontaminação de aqüíferos.
- Urge que seja encetada uma campanha para licenciamento ambiental corretivo de todos os empreendimentos já operantes que possam contaminar as águas subterrâneas conforme indicado no presente trabalho.
- O Licenciamento Ambiental Preventivo desses tipos de atividades deve ser condição *sine qua non* para liberação de qualquer espécie de licença para o seu funcionamento.
- Tanto os empreendimentos licenciados preventivamente quanto corretivamente devem ser alvo de periódicas e programadas vistorias de fiscalização para avaliar a adoção de medidas mitigadoras de impacto e a utilização de procedimentos que evitem ou minimizem a geração desses impactos.
- Devem ser explicitadas nas normas regulamentadoras do licenciamento e controle das atividades potencialmente poluidoras penalidades severas como multas, embargo parcial e fechamento da atividade para aquelas que infligirem por omissão ou ação essas normas.

- Uma vez constatada a contaminação local da água subterrânea a fiscalização do órgão ambiental deve tomar providências junto ao empreendimento responsável pela contaminação visando definir:
  - ✓ o limite da contaminação
  - ✓ as possibilidades de avanço da contaminação e sua respectiva direção e velocidade
  - ✓ as conseqüências dessa contaminação para os possíveis consumidores da água subterrânea
  - ✓ as possibilidades de remediação
  - ✓ a necessidade de monitorar o entorno da área contaminada
- Deve ser instituída uma "taxa de agressão ambiental" a ser cobrada do empreendimento responsável pela poluição, com valores variáveis em função do dano provocado ao meio ambiente, o que poderia ser alvo de uma regulamentação específica.

13.2. RECOMENDAÇÕES SOBRE POSTOS REVENDEDORES DE COMBUSTÍVEIS VEICULARES

- Deve haver uma mudança na filosofia que tem preponderado nas investigações ambientais procedidas nesses postos, com o aval do órgão fiscalizador – SMMA, que apenas vê como necessário caracterizar o risco de contaminação dos trabalhadores e usuários do posto, ficando relegada a segundo plano a contaminação da água subterrânea, que constitui o principal objeto da investigação ambiental.
- Deve haver uma melhor participação da equipe técnica da SMMA durante a fase de investigação, evitando a execução de programações ineficientes e até perigosas, como a locação de sondagens no pico de pluma de voláteis ou a paralisação de um furo antes de atingir o freático.
- O número de sondagens nas duas etapas de investigação ambiental deve ser uma função das dimensões do posto, mas não deve ser inferior a 10 (dez) na primeira etapa e a 3 (três) na segunda.

- Devem ser refutados os relatórios com conclusões incoerentes e baseadas em dados inconsistentes, principalmente quando desaconselham a continuidade das investigações ou a remediação da contaminação, apesar de não deixarem dúvidas os estudos já realizados com relação à necessidade de tais providências.
- A fiscalização deve ter maior flexibilidade quanto à observação do limite de 100 m estabelecido na DN nº 32/00 para analisar a influência de uma eventual contaminação, pois, dependendo da velocidade de escoamento da pluma de contaminação e de sua precisa delimitação, é possível que importantes formas de consumo, como a utilização da água subterrânea para a fabricação de bebidas, corram riscos consideráveis a distâncias superiores a 100 m da fonte de contaminação.
- Os processos de remediação devem ser avaliados em função de sua possibilidade de atingir os objetivos a que se propõem e a sua implantação deve ser rigorosamente acompanhada pela fiscalização, que deverá exigir análises bimensais de BTEX para monitorar a eficiência do processo.

13.3. RECOMENDAÇÕES SOBRE INDÚSTRIAS

- Devem ser incluídos na regulamentação da investigação ambiental para indústrias critérios de classificação do porte da indústria que considerem, complementarmente à extensão da área ocupada (já adotado) valores relacionados com a sua ocupação e com a possibilidade de gerar impactos. Recomenda-se, assim, incluir: número de empregados, consumo de água, efluentes líquidos e resíduos sólidos.
- Os órgãos ambientais que controlam a atividade industrial devem exigir, durante o licenciamento preventivo ou corretivo de cada empreendimento, o preenchimento de um formulário de caracterização semelhante ao apresentado no Quadro 9.12 do presente trabalho, a exemplo do que já ocorre com relação a postos de combustíveis.
- As indústrias que possuem poços tubulares, cujo conhecimento seria facilmente obtido através do formulário acima recomendado, devem apresentar ao órgão ambiental análises físico-químicas anuais de seus poços e, no caso de serem esses poços utilizados para a industrialização de bebidas ou de alimentos, esse controle deve ser trimestral.

- Devem ser implantadas estações de tratamento para os efluentes líquidos antes de direcioná-los à rede de esgotos.
- O solo em que serão depositados os resíduos sólidos deve ser antes impermeabilizado e receber sistema de drenagem superficial para evitar o direcionamento do escoamento das águas pluviais para o interior desses depósitos. Sempre que possível, esses depósitos devem ser reciclados, comercializados ou direcionados para áreas de menor vulnerabilidade dos aqüíferos.
- A eventual contaminação das águas subterrâneas por efluentes industriais deve ser prevista através de monitoramento que inclua poços ao longo de todo o limite da área industrial a jusante dos depósitos desses efluentes com relação ao fluxo das águas subterrâneas. Os poços de monitoramento devem ser executados de acordo com norma específica da ABNT para esse fim, sendo também a coleta de amostras para análises executada segundo tais normas.

13.4. RECOMENDAÇÕES PARA ATERROS SANITÁRIOS

- Faz-se necessário definir se o controle do aterro sanitário de Belo Horizonte continuará sob a responsabilidade da FEAM ou se passará para a SMMA. Nessa última hipótese, faz-se necessário que o COMAM regulamente as condições para licenciamento e fiscalização, incluindo o monitoramento desse tipo da atividade poluidora.
- Os aterros sanitários a serem implantados devem contemplar na escolha do local as condições de mais baixa vulnerabilidade do aqüífero em função dos critérios mencionados no presente trabalho. Ainda assim, devem ser tomadas medidas especiais na impermeabilização da base do aterro e no sistema de drenagem superficial para minimizar o afluxo de águas infiltradas.
- Os novos aterros sanitários devem ser compartimentados com áreas específicas para depósitos de resíduos domésticos, hospitalares e industriais. Para cada uma dessas áreas deve ser instalado um sistema de drenagem interna que direcione o chorume formado para estações de tratamento, que deverão aplicar a correção adequada para cada chorume em função de sua origem.

- Tanto nos novos aterros como em aterros já existentes, deve ser instalado um sistema de monitoramento através de poços abertos a jusante do fluxo das águas subterrâneas, complementados por um poço a montante para servir de "back ground" e permitir um melhor controle sobre uma eventual contaminação das águas subterrâneas.
- O controle da contaminação deve ser feito através de análises físico-químicas, que incluam todos os metais, e bacteriológicas, realizadas trimestralmente nos seguintes pontos: coleta do chorume "in natura"; saída do chorume da estação de tratamento; poços de monitoramento.
- Caso constatada qualquer contaminação das águas subterrâneas, devem ser realizadas pesquisas visando detectar a extensão da contaminação e as suas possíveis conseqüências para os consumidores dessa água, sendo em cada caso tomadas as providências compatíveis com o problema surgido, que poderão incluir: descontaminação, interdição do aterro e alerta aos consumidores.

13.5. RECOMENDAÇÕES PARA CEMITÉRIOS

- Considerando que o controle sobre os impactos ambientais gerados pelos cemitérios seja de responsabilidade da SMMA, faz-se necessário que o COMAM regulamente as condições para a efetivação desse controle, que incluiria o licenciamento dos cemitérios já existentes e aqueles que possam vir a se instalar nesse município.
- Para novos cemitérios deve ser observada a localização em função das condições de vulnerabilidade dos aqüíferos locais.
- O controle dos cemitérios novos ou já existentes deve ser iniciado através do conhecimento de suas características operacionais, recomendando-se para isso a utilização do formulário de caracterização apresentado no Quadro 9.24 do presente trabalho.
- Na regulamentação do licenciamento preventivo ou corretivo deve ser exigido um estudo hidrogeológico que defina o fluxo das águas subterrâneas no interior e entorno do cemitério.

- Além de licenciar, deve a SMMA monitorar todos os cemitérios através de uma rede de poços que inclua 2 ou 3 poços ao longo das equipotenciais mais baixas do freático e um poço a montante que sirva de "back ground". Esse controle inclui a coleta semestral (de preferência nos meses de abril e outubro) de amostras de água desses poços para análises físico-químicas (incluindo todos os metais) e bacteriológicas.
- Constatada contaminação, devem ser tomadas as mesmas providências recomendadas para os aterros sanitários.

13.6. RECOMENDAÇÕES PARA HOSPITAIS

- A SMMA deve regulamentar as condições para licenciamento e fiscalização de todos os empreendimentos hospitalares de Belo Horizonte.
- No licenciamento preventivo ou corretivo devem ser conhecidas as condições de operacionalidade do empreendimento no que diz respeito à possibilidade de contaminação das águas subterrâneas, o que pode ser conseguido com a utilização de um formulário de caracterização como apresentado no presente trabalho através do Quadro 9.28.
- Em cada estabelecimento hospitalar deve ser exigida a construção de um ou mais poços de monitoramento em função da extensão do empreendimento e das condições de fluxo subterrâneo.
- O controle do monitoramento pode ser anual, através da coleta e das análises físico-químicas e bacteriológicas.
- Constatada uma contaminação, deve ser exigida uma pesquisa detalhada para definir a provável origem e causa dessa contaminação, indicando a solução para sua remediação.

13.7. RECOMENDAÇÕES PARA SANEAMENTO BÁSICO

- Devem ser acelerados os serviços que visam implementar o atendimento da coleta de esgotos em toda a área urbana desse município.

- Devem ser evitadas as captações de água subterrânea nas proximidades de qualquer drenagem de água superficial dessa cidade, sob o risco de inverter o fluxo, atualmente efluente, pelo efeito do bombeamento, captando água contaminada que flui nos córregos e rios dessa cidade pela recepção generalizada da rede de esgotos, incluindo efluentes industriais e hospitalares.
- Deve ser dada continuação ao monitoramento das águas subterrâneas nas proximidades do Rio Arrudas, através do poço instalado em um terreno baldio em frente à Escola de Engenharia da UFMG.

13.8. RECOMENDAÇÕES PARA MINIMIZAR OS RISCOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA CONTAMINADA

- Devem ser investigados os locais mapeados como de elevado risco, visando eliminar a fonte de contaminação e monitorar a recuperação da qualidade da água subterrânea.
- Devem ser escolhidos locais para futuras captações de água subterrânea nas áreas correspondentes às zonas I e II do mapa do desenho 10.1
- Por medida de segurança, os novos poços tubulares devem ser afastados, pelo menos, 300 m de um posto de gasolina que não tenha sido ainda investigado e, tomadas as precauções definidas no item 10.3 para os poços localizados nas zonas II e III.

13.9 RECOMENDAÇÕES FINAIS

Embora a situação das águas subterrâneas no município de Belo Horizonte não seja caótica, malgrado a falta de uma política centralizadora de gestão dos recursos hídricos locais, faz-se necessário implementar medidas que impeçam o agravamento dessa situação.

Uma profícua gestão desses recursos deve ser iniciada com a normatização das corretas formas de extração e uso das águas subterrâneas, evitando as costumeiras falhas na locação, construção, operação e eventual abandono de poços tubulares.

O controle sistemático e centralizado de todas as fontes possíveis de contaminação dessas águas deve constituir um dos principais sustentáculos de uma eficiente administração em termos de recursos hídricos.

Finalmente, deve ser amplamente divulgada, em todos os setores que integram o cenário urbano, a conscientização de preservar as águas subterrâneas como única forma de garantir a sua segura utilização através dos tempos, principalmente quando se tornarem menos notórias as benesses hoje advindas da explotação dos recursos hídricos superficiais.

14. BIBLIOGRAFIA

ABAS INFORMA – 2001 – Boletim Informativo da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, n.111, fevereiro, São Paulo, SP.

ABRIOLA, L.M. – 1988 – Multiphase Flow and Transport Models for Organic Chemicals: a review and assessment – Eletric Power Research Institute, Final Report. Ann Arbour, Michigan, 93p.

AICLE – American Institute of Chemical Engineers – 1987 – "Guidelines for Process Equipment Realibility Data", New York-USP, in BRANT Meio Ambiente – 2001 (inédito)

ALEXANDRE, G.A.L. – 1997 – Impactos Domésticos e Agricultáveis nas Águas Subterrâneas – Sem. Impactos Ambientais e Águas Subterrâneas no Brasil – ABAS/CPRM, Rio de Janeiro.

ALKIMIN, F.F. – 1987 – Modelo deposicional para a seqüência de metassedimentos da Serra de Ouro Branco, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In Simp.sobre Sist.Depos.no Pré-cambriano. Anais da SBG-Ouro Preto. Bol.6. pp.47-68

ALKIMIN, F.F. et alli – 1993 – Arcabouço Tectônico do Craton do São Francisco. In DOMINGUES, J.M.L. & MISI, A. eds. O Cráton do São Francisco. Salvador,SBG.BA-SE/SGM/CNPq, cap.4,p.45-62

ALLER, L et al – 1987 – DRASTIC, a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting. U.S.Environment Protection Agency, Ada, OK.EPA, Report 600/2-87-035; 1-455

ATSDR – 1989 – Agency for Toxic Substances and Disease Registry- Public Health Statement. Documento disponibilizado pela Internet: http://atsdr1.atsdr.adc.gov:8080/ToxProfiles.

BARBOSA, A.L.M. – 1979 – Variação de fácies na Série Minas – In Simp.de Geologia de Minas Gerais-Geologia do Espinhaço-SBG-Núcleo de Minas Gerais, Bol.1,pp.89-100, Belo Horizonte.

BARBOSA, A.L.M. – 1985 – Contribuições Recentes à Geologia do Quadrilátero Ferrífero, Belo Horizonte, IGC,44p.

BARROS, R.T.de V.; CHERNICARO, C.A.de L.; HELLER, L.; SPERLING, M.V.– 1995 – Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios, V.2 – Escola de Engenharia da UFMG/FEAM, 221 p., Belo Horizonte.

BEAR,J. – 1972 – Dynamics of fluids in porous media – American Elsevier Publishing Company, N.York – 764 pp.

BELO HORIZONTE – 2000 – Limpeza Urbana na Belo Horizonte Centenária. Prefeitura Municipal. Superintendência de Limpeza Urban. Memória, 176 p.

BISORDI, M.S. – 1999 – Encerramento e Projetos de Recuperação Ambiental de Aterros Sanitários – Anais do Sem. sobre Resíduos Sólidos – ABGE pp.69-82, São Paulo.

BRANCO, S.M. – 1996 – Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária – CETESB/ASCETESB, 640 p., São Paulo

BRANT Meio Ambiente – 2001 – Análise de Riscos do Posto Brasinha Ltda. Relatório de Licenciamento Ambiental. Belo Horizonte (inédito)

BRITO NEVES, B.B.de et alli – 1993 – O evento de magmatismo de 1,0 Ga nas faixas móveis ao norte do Cráton do São Francisco. Anais do Simp.sobre o Cráton do São Francisco,II, SBG-BA-SE/SGM, p.243-245.

BUMPUS, J.A. – 1989 – Biodegradation of polyciclic aromatic hydrocarbons by Phanerochaete Chrysosporium. Aplied and Environmental Microbiology, 55,n.1,154-58

CANTER, L.W.; KNOX, R.C. – 1988 – Septic tank system efect in groundwater quality, Michigan, Lews Publishers. In FERREIRA, L.M.R. – 1992 – Impacto dos sistemas de saneamento "in situ" na qualidade das águas subterrâneas. Estudo de caso: Favela Vila Nilza, Município de São Paulo, SP, 128 p. (trabalho de graduação individual)- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciência Humanas - USP

CASTRO, M.A.H.de – 1998 - Considerações sobre a propagação da zona de contaminação em aqüíferos – Anais do 4º Cong. Latinoamericano de Hidrologia Subterránea, pp.923-926, Montevideo.

CAVALCANTI, M.A.M.P. – 1996 – Impacto dos Sistemas de Saneamento "in situ" nas Águas Subterrâneas no bairro de Piratininga, município de Niteroi-RJ. – Dissertação de Mestrado apresentado à USP, São Paulo. Inédito.

CETEC – FUNDAÇÃO CENTO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS – 1983 – Diagnóstico Ambiental do Estado de Minas Gerais. Série de Publicações Técnicas, 10.

CHEMALE Jr. et alli – 1991 – Evolução Tectônica do Quadrilátero Ferrífero, MG – um modelo. UFRGS,Pesquisas. V.18.n.2.p.104-127

COLE, G.M. – 1994 – Assessment and Remediation of Petroleum Contaminated Sites-Boca Raton, FL, USA: Lewis Publishers, 360 p.

COMIG – COMPANHIA MINERADORA DE MINAS GERAIS – 1994 – Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte

CONDIE, K.C. – 1982 – Plate Tectonics and crustal evolution – Pergamon Press, 2ª ed., 310 p.

CORSEUIL, H.X; ALVAREZ, P.J.J. – 1996 – Natural Bioremediation Prospecting for BTX-Contamined Groundwater in Brazil: Effect of Ethanol. Water Science & Tecnology, v.34, nº7-8, p.311-318

CORSEUIL, H.X.; MARINS, M.D.M. – 1997 - Contaminação de Água Subterrânea por Derramamento de Gasolina: O problema é grave? Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, 8p.

COSTA, WALDIR D. – 1997 – Contaminação e Programas de Monitoramento de Águas Subterrâneas – Sem. Impactos Ambientais e Águas Subterrâneas no Brasil – ABAS/CPRM, Rio de Janeiro

COSTA, WALTER D. – 1995 – Problemática da Água Subterrânea no nordeste brasileiro. Rev. Águas Subterrâneas, ABAS, n.14

COSTA, WALTER D. – 1997 – Gestión y conservación del agua: Contaminación de las aguas subterráneas en el Brasil – Seminário apresentado na Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad de Alcalá de Henares (Madrid) e na Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Valadolid – Espanha. Inédito.

COSTA, WALDIR D.; COSTA WALTER, D. – 1997 – Disponibilidades Hídricas Subterrâneas na Região Nordeste do Brasil – Rev. A Água em Revista – CPRM, ano V, n. 9, pp.47-59, Belo Horizonte.

CULLEN, S.S. et alli – 1994 – Vadose Zone – Characterization & Monitoring – Lewis Publishers - London

CUSTÓDIO, E.G. – 1992 – Curso de Poluição das Águas Subterraneas – VII Cong. Bras. de Águas Subterrâneas – Belo Horizonte

CUSTÓDIO, E.G. – 1994 – Gestión y Protección del agua subterránea. Curso de Actualización Profesional – 2° Cong.Latinoamericano de Hidrologia Subterránea. Santiago do Chile

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M.R. – 1976 – Hidrologia Subterrânea – Ediciones Omega 2 vol. Barcelona.

DARDENE, M.A. – 1978 – Zonação Tectônica na borda ocidental do Craton São Francisco. In Cong.Bras.de Geol. Anais da SBG, v.1.pp.299-308.

DARDENE, M.A. – 1981 – Os grupos Paranoá e Bambuí na Faixa Dobrada Brasília. In Simp.Craton do São Francisco e suas faixas marginais. Anais da SBG BA-SE/SGM/CPRM, pp.140-157, Salvador

DIAS, C.L.; LEMOS, M.M.G.; CAPELETI, A.; CASARINI, D.C.P. – 1998 – Derivação de Valores de Intervenção para chumbo, benzeno e tetracloetileno, utilizando o modelo de avaliação de risco C-Soil, para controle da contaminação de solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo – X Cong. Bras. de Águas Subterrâneas – ABAS, Rio de Janeiro

DOR, J.V.N. – 1969 – Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil, U.S.Geol.Survey, Prof.Paper 641-A, Washington

EVANS, W.C. – 1977 – Biochemistry of the bacterial catabolism of aromatic compounds in anaerobic environments. Nature 270:17-22

FALKENMARK, M; WIDSTRAND, C – 1992 – Population and water resources: a delicate balance. Population Bulletin – Anais Congresso ABRH - Recife

FERREIRA, L.M.R. & HIRATA, R.C.A. – 1993 – Determinação de Riscos de Contaminação das Águas Subterrâneas por sistema de saneamento "in situ"- Estudo de caso: Município de Campinas/SP – Anais do X Simp. de Recursos Hídricos – Gramado, RS, pp.444-452.

FETTER, C.W. – 1992 – Contaminant Hydrogeology- Prentice Hall, London.

FOSTER, S.S.D.; BRIDGE, L.R.; GAKE, A.K; LAWRENCE,A.R.; PARKER, J.M. – 1986 – The groundwater nitrate problem. BGS Hydrogeology, Res.Rep.v.86,n.1,95p in FOSTER, S.S.D.; VENTURA, M; HIRATA, R.C.A. – 1987 – Contaminacion de las águas subterrâneas: um enfoque efecutivo de la situación em América Latina y el Caribe

em relación com el suministro de água potable. CEPIS. Technical Report (OMS, OPS-HPE,CEPIS) Lima, peru, 42 p.

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.A. – 1988-1991 – Groundwater pollution risk assessment: methodology using available data. WHO-PAHO/CEPIS, Lima, Peru-1-78

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.A. – 1993 – Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes. IG. Bol.n.10, 92 p. São Paulo.

FREEZE, R.A; CHERRY, J.A. – 1979 – Groundwater – Prentice-Hall Inc. – Englewod Cliffs., N.J.. 604p.

FUCK, R.A. – 1991 – Subdivisão cronométrica do Arqueano: Proposta da Subcomissão de Estratigrafia do Pré-cambriano. Rev. Bras.de Geol. V.21.n.2, pp.184-185

GANDOY-BERNASCONI, W – 1998 – Definición del Criterio de Validez de Localización de Plumas de Vapores Orgánicos en el solo. Anais do 4º Cong. Latinoamericano de Hidrologia Subterránea – pp.786-804, Montevideo.

GERBA, C.P.; GOYAL, S.M. – 1985 – Pathogen removal from vaste water during groundwater recharge. Artificial recharge of groundwater. Takaski Asno. Butter worth Publishers. In CAVALCANTI, M.A.M.P. – 1996 – Impacto dos Sistemas de Saneamento "in situ" nas águas subterrâneas no Bairro Piratininga-Município de Niterói (RJ) – Dissertação de Mestrado - USP

GUIGUER, N. – 1996 – Poluição das Águas Subterrâneas e do Solo Causada por Vazamentos em Postos de Abastecimento – Waterloo Hidrogeologia Inc – Ontário, Canadá, 355 p.

GÜNTER, W.M.R. – 1999 – Saúde Ambiental comprometida pelos resíduos sólidos – Anais do Sem. sobre Resíduos Sólidos – ABGE, pp.83-90, São Paulo.

HARALY, N.L.E.; HASUI, Y. – 1982 – The gravimetric information and Archean-Proterozoic Structural Framework of Eastern Brazil-Rev.Bras.Geol.v.112,n.1-3,pp.160-166

HASSUDA, S. – 1997 – Critérios para a Gestão de Áreas Suspeitas ou Contaminadas por Resíduos Sólidos – Estudo de caso na região metropolitana de São Paulo. Tese de doutoramento apresentada à USP, 142 p. São Paulo. Inédito.

HASSUDA, S; REBOUÇAS, A.da C.; CUNHA, R.de A.; MARKER, A. – 1998 – Critérios para classificação de áreas contaminadas por resíduos sólidos – Estudo de caso na Região

Metropolitana de São Paulo – Anais do 4º Cong. Latinoamericano de Hidrologia Subterránea, pp. 926-933, Montevideo.

HEDERRA, R. – 1996 – Manual de Vigilância Sanitária – Série HSP-UNI/Manuales Operativos – Paltex v.4, n.11-OPAS, Washington.

HEITKAMP, M.A.; CERNIGLIA, C.E. – 1988 – Mineralization of polyciclic aromatic hydrocarbons by a bacterium isolated from sediment below an oil field. Aplied and Environment Microbiology 54,n.6:1612-14

HILLER, D. – 1988 – Movement and Retention of Organic in Soil: A review and a critique modeling. In KOSTECKI, P.T.; CALABRER, E.J. – Petroleum Contamined Soil. V.1. Chelseas Lewis Publishers, p.81-86

HIRATA, R.C.A. – 1997 – Vulnerabilidade e Risco de Contaminação dos Recursos Hídricos Subterrâneos – Sem. Impactos Ambientais e Águas Subterrâneas no Brasil – ABAS/CPRM, Rio de Janeiro.

HIRATA, R.C.A.; BASTOS, C.R. de A.; ROCHA, G.A. (Coord.) - 1997 – Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo IG/CETESB, 2v. 144p. São Paulo.

HUNT, J.R.; SITAR, N; UDELL, K.S. – 1988 – Nonaqueous Phase Liquid Transport and Clamps:1-Analysis of Mechanisms. Water Resource Research.v.24.n.8,p.1247-1258

JARDIM, N.S. et alli – 1995 – Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado – IPT/CEMPRE – São Paulo.

KARFUNKEL, J. et alli – 1985 – O Grupo Macaúbas em Minas Gerais: revisão dos conhecimentos. Anais do Simp.Geol.Minas Gerais. SBG-MG, Belo Horizonte, p.45-59.

KING, L.C. – 1956 – A geomorfologia do Brasil Ocidental – Rev.Brasil.de Geografia, ano XVIII, n.2, pp.3-121, Rio de Janeiro

KLEIN, L. – 1957 – Aspects of River Pollution . Butter works Scientific Publications, Inglaterra.

KLIGLER, I.J. – 1921 – Investigation on soil pollution and the relation of the various types of privies to the spread of intestinal infections. Monograph n.15, The Rockfeller Institute for Medical Research, N.York, in LEWIS, W.J.; FOSTER, S.S.D.; DRASAR, B.S. – 1988 – Analisis de contaminación de las aguas subterráneas por sistemas de saneamiento básico, Lima, CEPIS, 82 p.

KRONE, R.B.; ORLOB, G.T.; HODKINSON, C. – 1958 – Movement of coliform bacteria through porous media. Sewage and Industrial Wastes, v.30,n.1,p.1-30

LADEIRA, E.A. – 1980 – Metallognesis of gold at the Morro Velho Mine and in Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil, University of Werstern Ontario, Canadá, 272 p. Tese de Doutorado

LE GRAND, H.E. – 1968 – Graphic Evaluation of Hidrogeologic Factors in Management of Radioactives Wastes – Second Conference on Ground Disposal of Racioactive Wastes, Atomic Energy Comission Report, TIE-7262.

LEWIS, W.J.; FOSTER, S.S.D.; DRASAR, B.S. – 1988 – Análisis de contaminación de las aguas subterráneas por sistemas de saneamento básico. Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 82 p. Lima

LOGAN, J. – 1965 – The interpretation of Chemical Analyses of water. U.S.Agency for Intern.Development-Recife,Brazil

LOUREIRO, C.de O.; SCHWABE, W.K. – 1997 – Contaminação de Solos e Águas Subterrâneas com solventes organoclorados líquidos – Sem. Impactos Ambientais e Água Subterrânea no Brasil – ABAS/CPRM – Rio de Janeiro.

MACHADO, N. et alli – 1989 – Resultados preliminares da geocronologia U/Pb na Serra do Espinhaço meridional. Anais do Simp.Geol.Minas Gerais,5,SBG-MG,Bol.10.p.171-174

MACHADO, N.; NOCE, C.M. – 1993 – Evolução do setor sul do Cráton do São Francisco entre 3,1 e 0,5 Ga baseada em geocronologia U/Pb. In Simp. Sobre o Cráton do São Francisco, II, Anais da SBG-SE/SGM, pp.100-102, Salvador

MACKAY, D.M; ROBERTS, P.V.; CHERRY, J.A. – 1985 – Transport of Organic Contaminants in Groundwater-Environment Science & Technology, v.19,n.5.p.384-392.

MAIA NETO, R.F. – 1997 – Água para o Desenvolvimento Sustentável – Rev. A Água em Revista – CPRM, ano V, n. 9, pp.21-32, Belo Horizonte

MARSHAK, S.; ALKIMIN, F.F. – 1989 – Proterozoic contraction/extension tectonics of the Southern São Francisco region, Minas Gerais, Brazil. Tectonics, v.8,n.3,pp.555-571

MESTRINHO, S.S.P. – 1997 – Investigações na zona não saturada – Sem. Impactos Ambientais e Água Subterrânea no Brasil – ABAS/CPRM – Rio de Janeiro.

MESTRINHO, S.S.P.; REBOUÇAS, A.da C. – 1998 – Estudo de contaminação por metais pesados nos sedimentos da região estuarina do rio Paraguaçu-Bahia – Anais do 4º Cong. Latinoamericano de Hidrologia Subterranea – pp.667-681, Montevideo.

MIRZOEV, G.G. – 1968 – Extent of survival of Dysentery Bacilli at low temperatures and self-desinfection of soil and water in the far north – Hygiene and Sanitation,n.31,p.437-439, in CAVALCANTI, M.A.M.P. – 1996 – Impacto dos Sistemas de Saneamento "in situ" nas águas subterrâneas no Bairro Piratininga-Município de Niteroi (RJ) – Dissertação de Mestrado - USP

MONTAÑO, J; COLLAZO, P – 1998 – Importancia de la zona no saturada como amortiguación en los medios fisurados – Anais do 4º Cong. Latinoamericano de Hidrologia Subterránea – pp.881-895, Montevideo.

MONTEIRO, M.P.; KOIDE, S. – 1998 – Monitoramento da qualidade da água subterrânea sob sistemas sépticos em um solo argiloso. Anais do 4º Cong. Latinoamericano de Hidrologia Subterránea – pp.1194-1211, Montevideo.

NOCE, C.M.; MACHADO, N.; TEIXEIRA, W.D. – 1994 – O complexo Belo Horizonte e a Evolução Arqueana do Quadrilátero Ferrífero, MG, In Cong. Bras.de Geologia- Boletim de Recursos Expandidos do SBG/DNPM/CPRM, v.1,pp.68-69, Porto Alegre.

OLIVEIRA, A.M.dos S.; CORREA FILHO, D. – 1981 – Ensaios de Permeabilidade em Solos – ABGE, Bol.04, S.Paulo

OLIVEIRA, E. de – 1992 – Contaminação de Aqüíferos por Hidrocarbonetos Provenientes de Vazamentos de Tanques de Armazenamento Subterrâneo-Universidade de São Paulo-USP-Instituto de Geociências – Dissertação de Mestrado, 112 p.

OLIVEIRA, E. de; BARKER, J.F.; BANKS, J. – 1998 – Efeitos da Variação do Nível d'água em Fase Livre de Gasolina pura e de Gasolina com Etanol – X Cong. Bras. de Águas Subterrâneas – ABAS, Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, E.P.; KNAUER, L.G. – 1993 – Corpos máficos e ultramáficos do Cráton do São Francisco. In DOMINGUES, J.M.; MISI, A. – O Craton do São Francisco. SBG/SGM/CNPq, Cap. 7, pp.119-136

OLIVEIRA, L.I.de; LOUREIRO, C.de O. – 1998 – Contaminação de Aqüíferos por Combustíveis Orgânicos em Belo Horizonte: Avaliação Preliminar – X Cong. Bras. de Águas Subterrâneas – ABAS, Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, L.I. de – 1999 – Postos Distribuidores de combustíveis em Belo Horizonte: caracterização do problema ambiental em potencial. Dissertação de Mestrado-UFMG/EE, 232 p. (Inédito)

ORTH, M.H. de A. – 1999 – Planos Diretores de Resíduos Sólidos no Estado de São Paulo-Anais do Sem. sobre Resíduos Sólidos – ABGE – pp.27-33, São Paulo.

PACHECO, A. – 1980 – Os cemitérios como risco potencial para água de abastecimento – Rev. Sint. Planej. Adm. Metropolitana. n.17 – São Paulo

PEDROSA SOARES, A.C. et alli – 1992 – Toward a new tectonic model for the late Proterozoic Araçuaí (SE Brazil) – West Congolian (SW Africa) Belt. Journal of South American Earth Sciences, v.6,n.1/2, p.33-47

PHILIPPI Jr. A. – 1999 – Agenda 21 e Resíduos Sólidos – Anais do Sem. sobre Resíduos Sólidos – ABGE – pp.15-25, São Paulo.

POMERONE, J.B. – 1958 – The Cercadinho formation, a symposium on the stratigraphy of the Minas Gerais Series in the Quadrilatero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil, Bol.Soc.Bras.Geol.-São Paulo, v.7, n.2, p.64-65

POMERONE, J.B. – 1994 – Geology and deposits of the Belo Horizonte, Ibirité and Macacos quadrangles, MG,Brasil,U.S. Geol.Survey, Prof.Paper 341-D.Washington,84p.

REBOUÇAS, A. da C. – 1992 – Impactos Ambientais nas águas subterrâneas – Anais do VII Cong. Bras. de Águas Subterrâneas – ABAS, v.1. pp.11-17, Belo Horizonte.

REBOUÇAS, A. da C. – 1997 – Desenvolvimento e Proteção das Águas Subterrâneas – Sem. Impactos Ambientais e Águas Subterrâneas no Brasil – ABAS/CPRM, Rio de Janeiro.

REBOUÇAS, A. da C. – 2000 – Os Desafios da "Comoditização" da Água – Jornal ABAS Informa, p.3, São Paulo.

REICHARD, E; CRANOR, C; RAUCHER, R; ZAPPONI, G. – 1990 – Groundwater contamination risk assessment: a guide to understanding and managing uncertainties – IAHS publ. n. 196, 205 p. Oxfordshire, UK.

RENGER, F.E. et alli – 1994 – Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais,Brasil. Geominas, Belo Horizonte, v.2,n.1, p.1-11

SANTA, L.J.; KOIDE,S. – 1998 – Definición del Criterio de Validez de Localización de Plumas de Vapores Orgánicos en el solo. Anais do 4º Cong. Latinoamericano de Hidrologia Subterránea, pp.700-719, Montevideo.

SCHRANK, A.; SILVA, M.G. – 1993 – Os Greenstones Belts do Craton do São Francisco. In DOMINGUES, J.M.L.; MISI, A. – O Craton do São Francisco, SBG BASE/SGM/CNPq, cap. 7, pp.85-118

SCUDINO, P.C.B. – 1992 – Avaliação hidrogeológica em área de disposição de resíduos sólidos com riscos de poluição de aqüíferos – Anais do VII Cong. Bras. de Águas Subterrâneas-ABAS, v.1 pp.128-135, Belo Horizonte.

SCUDINO, P.C.B. – 1997 – Técnicas de Investigação da Qualidade das Águas Subterrâneas – Sem. Impactos Ambientais e Águas Subterrâneas no Brasil – ABAS/CPRM, Rio de Janeiro.

SILVA, A.B.da – 1995 – Poluição das Águas Subterrâneas – Seminário apresentado para concurso para provimento de vaga de professor titular na UFMG. Inédito.

SILVA, A.B.da; CARVALHO, E.T.de; FANTINEL, L.M.; ROMANO, A.W; VIANA, C.da S. – 1995 – Estudos Geológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos e Geoambientais Integrados no município de Belo Horizonte – PMBH/FUNDEP/UFMG, 150p., Belo Horizonte.

SILVA, M.L. – 1998 – Cemitérios; Fonte Potencial de Contaminação dos Aqüíferos Livres – Anais do 4º Cong. Latinoamericano de Hidrologia Subterranea, pp.667-681, Montevideo.

SOUZA, S.M.T. de – 1995 – Disponibilidades hídricas subterrâneas no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: Hidrosistemas, 525 p.

SUBRAHMANYAN, K; BHASKARAN, J.R. – 1980 – The risk of pollution of groundwater from boreholes latrines – Indian Medical Gazett,v.85,nº9,p.418-423 – in CAVALCANTI, M.A.M.P. – 1996 – Impacto dos Sistemas de Saneamento "in situ" nas águas subterrâneas no Bairro Piratininga-Município de Niterói (RJ) – Dissertação de Mestrado – USP (Inédito).

TORQUATO, J.R.; FOGAÇA, A.C.C. – 1993 – Correlação entre o Supergrupo Espinhaço no Brasil, o Grupo Chela em Angola e as formações Narib e Khoabendus da Namíbia. In Simp. Sobre o Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais, Anais da SBG-BA/CPRM. Pp.87-98, Salvador

UHLEIN, A. - 1991 – Transição cráton-faixa dobrada: exemplo do Cráton do São Francisco e da Faixa Araçuaí (Ciclo Brasiliano) no Estado de Minas Gerais (aspectos estratigráficos e estruturais), IG/USP-SÃO PAULO, 295, Tese de Doutorado (Inédito)

USEPA – United States Environmental Proctetion Agency – 1986 – Guidelines for Ground-Water Classification under the EPA Ground-Water Protection-Strategy. Office of Ground-Water Protection (WH-550G). Final Draft, 137 p. Washington, DC.

WILSON, L.G.; MASTLOCK, W.G.; JACOBS, K.L. – 1998 – Hydrogeologic uncertainties and policy implications: The Water Consumer Protection Act of Tucson, Arizona, USA, Hydrogeology Journal, Vol.6, Nº 3, p.3-14

WOOD, L.M.; KRAMER, T.P.; HERN Jr, P.P. – 1990 – Intergranular diffusion: an important mechanism influencing solute transport in clastic aquifers. Science 247 (march 30):1569-72.

15. IDENTIFICAÇÃO DO AUTOR

Nome: WALTER DUARTE COSTA

Naturalidade: Recife – PE

Data de nascimento: 30.03.1938

Titulação: GEÓLOGO - Ms

Graduação: UFPE – Recife - 1962

Mestrado: Geologia de Engenharia – UFRJ – 1975

Especialização: Mecânica das Rochas – UFRJ – 1971
Hidrologia de Reservatórios – UFRJ – 1972

Estágios: Perfuração de poços – EUA – 2 meses – 1964
Contaminción de las aguas subterráneas – Madrid – 3 meses - 1977

Atividades Didáticas (Local, cargo, período):

UFPE:	Professor Assistente e Adjunto – 1966-1984
UFF:	Professor Convidado – 1971-1972
UnB:	Professor Convidado – 1972
PUC-RJ:	Professor Convidado – 1971-1972
UFMG:	Professor Assistente – 1995-2000

Atividades Profissionais (Local, cargo e período)

SUDENE – PE:	Geólogo e Diretor – 1963-1967
SONDOTÉCNICA-RJ:	Geólogo – 1968-1972
CONTEGE - PE:	Diretor e Geólogo – 1973-1975
GEOTECNIA – PE :	Diretor e Geólogo – 1975-1984
ENERCONSULT – MG:	Geólogo – 1984-1992
ECOGEO – MG:	Diretor e Geólogo – 1992-1995

Áreas de atividade na Geologia:

HIDROGEOLOGIA – GEOTECNIA – MINERAÇÃO – MEIO AMBIENTE

Endereço atual: Rua do Ouro, 780/102 – Serra
Belo Horizonte – MG – CEP: 30.220-000
Telefax: (0xx31) 3287.5232 –
E-mail: wdcosta@rbeep.com.br

Belo Horizonte 30 de abril de 2002

16. AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela extrema generosidade na condução de meus passos.

O autor expressa ainda sua gratidão pela ajuda e incentivos recebidos durante o desenvolvimento do presente trabalho às seguintes pessoas e entidades:

- ✓ À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pelo auxílio financeiro para a realização das pesquisas que subsidiaram o presente trabalho;
- ✓ Ao Professor Dr. Aldo da Cunha Rebouças, pela orientação, leitura e sugestões apresentadas;
- ✓ Ao geólogo e sobrinho Waldir Duarte Costa Filho, pela colaboração no capitulo de Hidroquímica e auxílio na utilização do software Surfer;
- ✓ Ao professor da UFMG Paulo Antunes Roberto Aranha, pela colaboração com a prospecção geofísica e ajuda na confecção das figuras em Corel Draw;
- ✓ À minha filha Shirley pela digitalização das figuras em Autocad;
- ✓ Às minhas filhas Solange e Simone e esposa Solange, pela revisão na redação e digitalização do texto;
- ✓ Ao geólogo e genro Marcio André dos Santos Sales, pela ajuda na tradução do Abstract;
- ✓ À professora Leila Menegasse, pelos dados fornecidos de sua pesquisa em cemitérios dessa cidade;
- ✓ Ao geólogo Leandro Barros Reis da Geogeraes pela digitalização dos mapas;
- ✓ À Fundação Estadual do Meio Ambiente, nas pessoas do presidente Maurício Andréas Ribeiro, que emitiu carta de apresentação para as empresas privadas e órgãos ambientais, da bibliotecária Mara e da engenheira Alcione, pelos dados fornecidos;
- ✓ À Fundação do Desenvolvimento da Pesquisa – FUNDEP – pela administração do convênio UFMG/FAPEMIG;
- ✓ À Secretaria Municipal do Meio Ambiente – SMMA, nas pessoas de Emilson Miranda, Osvaldo Aleixo Rodrigues, Paula Guimarães e Eliana Furtado pela cessão de dados sobre os processos de postos de combustíveis em andamento nesse órgão;

- ✓ À Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte S.A. – PRODABEL, na pessoa do Supervisor do Setor de Atendimento William Cardoso, pela cessão de mapas e aerofotos desse município;
- ✓ À Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte, na pessoa da Coordenadora da Divisão de Fiscalização de Obras, Eliane Mara Alkimin, pela autorização para executar pesquisas no antigo lixão do Morro das Pedras;
- ✓ À Secretaria Municipal da Habitação, nas pessoas da Secretária-Presidente Maria Gesica Valadares e da geóloga Mônica, pela cessão de dados referentes ao antigo lixão do Morro das Pedras;
- ✓ À Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA, na pessoa da engenheira Maria de Fátima Gouveia, pela cessão de dados relacionados com o saneamento básico nesse município;
- ✓ À Superintendência de Limpeza Urbana – SLU, na pessoa do Chefe do Departamento de Destinação Final do Lixo, engenheiro Heuder Pascele, pela cessão de dados e liberação de vistoria no aterro sanitário de Belo Horizonte;
- ✓ À empresa Lakefield Geosol Ltda., nas pessoas de seu diretor, João Henrique Grossi, que autorizou as análises físico-químicas e bacteriológicas gratuitas de 5 amostras de água e do geólogo Dalmo, que cedeu os dados de poços tubulares abertos em Belo Horizonte pela Geosol;
- ✓ À empresa Hidropoços Ltda, na pessoa do geólogo Fabio Horton, pela cessão de dados de poços tubulares abertos nesse município por essa empresa;
- ✓ À empresa Brazpoços Ltda, na pessoa do seu diretor Adelbani Braz da Silva, pela cessão de dados de poços tubulares abertos nesse município por essa empresa;
- ✓ Ao professor Henry Corseuil, pela dedicação na realização de análises de BTEX na UFSC;
- ✓ À indústria Manesman S.A. na pessoa do gerente do Meio Ambiente, engenheiro Vanberto Farias, pela cessão de dados relativos à poluição e acesso às suas instalações industriais;
- ✓ À Industrial Horizonte Têxtil Ltda., na pessoa do diretor Walter Jorge Corci, pelo acesso às suas instalações industriais e cessão de dados referentes aos poços tubulares existentes nessa empresa;

✓ Ao Ten.Cel. Omar de Farias, pela autorização de pesquisa no poço tubular existente no Hospital da Polícia Militar;

✓ Ao Dr. Clementino Procópio, pela autorização para pesquisar um poço tubular existente no Hospital Felício Roxo;

✓ Ao Prof. Dr. Heinrich Horn, Chefe do Departamento de Geologia da UFMG, pela contribuição na resolução dos problemas administrativos;

✓ A todos os demais que direta ou indiretamente contribuíram com o presente trabalho e que por lapso de memória não tenham sido citados.

ANEXOS

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
5° DISTRITO DE METEOROLOGIA

NORMAIS CLIMATOLÓGICAS

LOCALIDADE : BELO HORIZONTE **ANO DE 1961 à 1990**

	Temperatura Média Compensada (°C)	Umidade Relativa (%)	Precipitação Total (mm)	Evaporação (Piche)	Insolação (Horas)
JANEIRO	22.8	79.0	296.3	86.7	189.8
FEVEREIRO	23.2	75.1	188.4	87.7	195.5
MARÇO	23.0	74.7	163.5	95.3	215.1
ABRIL	21.1	73.9	61.2	92.4	228.9
MAIO	19.8	72.5	27..8	92.8	237.1
JUNHO	18.5	71.4	14.1	92.4	240.1
JULHO	18.1	68.7	15.7	105.7	256.5
AGOSTO	19.0	64.5	13.7	132.1	255.6
SETEMBRO	21.0	65.1	40.5	137.2	210.1
OUTUBRO	21.9	69.8	123.1	117.7	190.5
NOVEMBRO	22.2	74.1	227.6	96.3	181.7
DEZEMBRO	21.1	78.0	319.4	84.1	165.1
ANUAL	21.1	72.2	1491.3	1217.4	2566.0

Obs. Os valores acima descritos, correspondem às médias mensais de cada parâmetro.

DATA: 03/09/99

SOLICITANTE: Walter Duarte Costa

PREPARADO POR: Lener Taplion S. Azevedo

VISTO

ANEXO 1.1

ANEXO 1.2 - PLANILHA DE CÁLCULO PARA O BALANÇO HÍDRICO PELO MÉTODO DE THORNTHAITE

COLUNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
MÊS	p	ETP	P-ETP	ARMAZENAMENTO		ETR	DEF	EXC	ESC
				VALOR	ALTER.				
JAN	296	94	202	100	0	94	0	202	170
FEV	188	100	88	100	0	100	0	88	129
MAR	163	96	67	100	0	96	0	67	98
ABR	61	80	-19	81	-19	80	0	0	50
MAI	28	69	-41	40	-41	69	0	0	25
JUN	14	57	-43	0	-40	54	3	0	13
JIL	16	55	-39	0	0	16	39	0	6
AGO	14	62	-48	0	0	14	48	0	3
SET	41	78	-37	0	0	41	37	0	1
OUT	123	87	36	36	36	87	0	0	0
NOV	228	90	138	100	64	90	0	74	37
DEZ	319	80	239	100	0	80	0	239	138
ANO	1491	948	543	-	0	821	127	670	670

ANEXO 2.1 - POÇOS TUBULARES NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE

Nº	PROPRIETÁRIO	LOCAL DO POÇO	COORDENADAS – UTM		ESPES. DA COB. – m	PROF. (m)	COTA DO NE - m	NE (m)	ND (m)	VAZÃO (l/h)	CAP.ESP. (l/s/m)	GEOLOGIA
			LONG.	LAT.								
00			606.700	7.811.000	22,30	100,00	880,00	4,50	50,36	4.500	0,027	Com.B.Horizonte
01			608.800	7.807.200	36,30	84,00	759,00	11,00	33,50	2.600	0,032	Com.B.Horizonte
02	Núcleo Assist.Caminhos p/ Jesus	R. José Ferreira Magalhães 276	612.200	7.804.800	38,00	70,00	813,36	6,64	33,27	6.092	0,063	Com.B.Horizonte
03			603.800	7.805.900	42,00	70,00	867,00	8,00	51,00	800	0,005	Com.B.Horizonte
04	Comercial Xapuri Ltda.		604.400	7.805.300	38,00	70,00	824,40	15,60	40,80	2.200	0,024	Com.B.Horizonte
05			607.200	7.805.400	41,89	104,00	826,40	8,60	51,43	5.500	0,035	Com.B.Horizonte
06	Antonio de Souza Araujo	Rua dos Estados 125	607.500	7.805.100	98,00	100,00	813,00	7,00	42,50	4.000	0,003	Com.B.Horizonte
07			609.900	7.792.900	58,80	80,00	839,00	16,00	48,00	5.500	0,004	Com.B.Horizonte
08			608.900	7.805.300	28,00	70,00	786,70	13,30	39,80	5.400	0,056	Com.B.Horizonte
09			605.500	7.803.400	61,00	70,00	808,00	17,00	52,00	2.555	0,020	Com.B.Horizonte
10			606.200	7.803.900	70,00	103,00	807,84	22,16	65,13	2.140	0,013	Com.B.Horizonte
11			606.200	7.804.600	82,60	86,00	788,00	17,00	62,50	2.400	0,014	Com.B.Horizonte
12			607.300	7.804.300	78,40	80,00	802,00	3,00	55,00	3.600	0,019	Com.B.Horizonte
13			607.400	7.803.900	54,00	100,00	812,00	16,00	50,36	8.000	0,012	Com.B.Horizonte
14			608.100	7.803.900	45,00	81,00	808,00	17,00	50,00	2.500	0,021	Com.B.Horizonte
15			608.100	7.803.600	45,00	81,00	810,00	15,00	55,00	2.600	0,018	Com.B.Horizonte
16			608.900	7.803.900	40,00	80,00	782,00	13,00	50,00	4.500	0,033	Com.B.Horizonte
17	Vídeo Táxi Aéreo		609.200	7.804.700	52,49	90,00	781,70	8,30	40,86	12.000	0,102	Com.B.Horizonte
18			612.200	7.803.200	35,26	72,71	770,00	5,00	38,35	9.200	0,076	Com.B.Horizonte
19			613.500	7.803.800	7,50	72,00	785,00	5,00	32,00	6.000	0,061	Com.B.Horioznte
20	Lar dos Meninos Dom Orione	Av. Dom Orione 187	607.100	7.803.200	55,49	80,00	809,60	10,40	44,91	5.000	0,040	Com.B.Horizonte
21	Emp. de Transportes Gontijo Ltda.	R.Prof. José V. de Mendonça 475	607.000	7.801.500	24,50	90,00	841,97	8,03	29,98	12.600	0,159	Com.B.Horizonte
22			607.000	7.801.300	38,50	70,00	856,00	4,00	33,00	6.092	0,058	Com.B.Horizonte
23			606.900	7.801.300	63,00	87,00	821,30	13,00	30,00	9.600	0,156	Com.B.Horizonte
24	Cimento Mauá	Rod. BR-262 km 4,1	606.800	7.801.200	14,60	73,00	837,51	12,49	46,18	2.000	0,016	Com.B.Horizonte
25			608.700	7.802.300	26,00	80,00	803,00	6,00	18,00	21.000	0,486	Com.B.Horizonte
26	Fiobracap Indusstrial Ltda.	Av.Pres.Antonio Carlos 2200	609.200	7.802.200	34,65	80,00	824,00	6,00	35,00	7.200	0,068	Com.B.Horizonte
27			612.300	7.802.500	18,00	80,00	830,00	5,00	18,00	9.900	0,211	Com.B.Horizonte
28			612.500	7.802.000	44,00	118,00	792,80	2,20	-	--	-	Com.B.Horizonte
29			612.400	7.802.000	12,00	80,00	793,80	1,20	29,42	1.400	0,013	Com.B.Horizonte
30			606.700	7.799.700	-	69,50	852,00	8,00	20,00	7.200	0,166	Com.B.Horizonte
31			608.000	7.800.500	35,00	70,00	832,00	8,00	33,00	7.200	0,080	Com.B.Horizonte
32			608.000	7.800.600	26,00	70,00	846,20	3,80	23,80	12.184	0,169	Com.B.Horizonte
33	Forest Hill - Motel	Rod. BR-262 km 2	608.400	7.800.890	19,00	70,00	844,00	6,00	21,00	31.680	0,586	Com.B.Horizonte
34			609.200	7.800.200	32,00	84,00	-	-	-	200	-	Com.B.Horizonte
35			609.500	7.801.500	42,00	97,00	840,60	33,00	68,00	3.300	0,026	Com.B.Horizonte
36			609.800	7.800.700	44,72	97,00	815,52	14,48	55,70	4.200	0,038	Com.B.Horizonte
37			612.200	7.799.800	33,60	70,00	837,70	12,30	42,80	3.443	0,031	Com.B.Horizonte
38			612.600	7.801.000	62,00	70,00	802,57	7,43	28,45	5.000	0,066	Com.B.Horizonte
39	Oficina da REFESA	R.Luiz da Nóbrega 160	614.100	7.798.900	28,64	105,00	796,29	3,71	45,40	4.140	0,027	Com.B.Horizonte
40	Mate Couro S.A.	Rua Ninive, 640	603.000	7.799.300	31,00	69,00	858,00	2,00	28,00	12.000	0,128	Com.B.Horizonte

ANEXO 2.1 - POÇOS TUBULARES NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE

- Continuação -

Nº	PROPRIETÁRIO	LOCAL DO POÇO	COORDENADAS – UTM		ESPES. DA COB. – m	PROF. (m)	COTA DO NE - m	NE (m)	ND (m)	VAZÃO (l/h)	CAP.ESP. (l/s/m)	GEOLOGIA
			LONG.	LAT.								
41	Mate Couro S.A.	R.Ninive 640	603.200	7.799.400	27,00	54,00	842,00	8,00	40,00	2.000	0,017	Com.B.Horizonte
42			604.400	7.799.500	49,50	80,00	852,00	3,00	32,50	15.200	0,143	Com.B.Horizonte
43	Chantiminas Ind. e Com. Ltda.	Rod. BR-262 - 4691	606.300	7.798.900	34,00	80,00	907,00	13,00	28,00	8.800	0,162	Com.B.Horizonte
44			608.300	7.799.000	37,00	72,00	882,00	8,00	38,00	5.500	0,050	Com.B.Horizonte
45			603.700	7.796.600	68,50	90,00	874,00	26,00	52,00	1.650	0,017	Com.B.Horizonte
46			605.200	7.796.300	36,02	100,00	824,00	-	53,68	5.000	-	Com.B.Horizonte
47			605.800	7.796.600	55,30	95,00	875,00	5,00	55,49	8.340	0,045	Com.B.Horizonte
48			608.900	7.796.800	-	55,00	856,00	4,00	32,00	3.000	0,029	Com.B.Horizonte
49			609.200	7.796.900	20,00	62,00	855,00	5,00	21,00	14.000	0,243	Com.B.Horizonte
50	Hospital Socor S.A.	Av. do Contorno 10500	609.700	7.797.200	21,07	84,00	848,00	2,00	29,00	2.570	0,026	Com.B.Horizonte
51			610.200	7.797.500	30,00	80,00	854,40	10,60	52,25	3.000	0,020	Com.B.Horizonte
52			611.000	7.796.900	47,00	110,00	853.20	11,80	50,35	5.500	0,039	Com.B.Horizonte
53			611.100	7.796.800	46,28	86,00	846,00	14,00	51,00	2.000	0,015	Com.B.Horizonte
54	Oteminas		611.200	7.796.800	37,40	150,00	840,44	19,56	54,10	1.200	0,009	Com.B.Horizonte
55			611.900	7.796.800	18,00	90,00	832,00	8,00	20,00	11.000	0,254	Com.B.Horizonte
56			612.600	7.797.100	22,00	90,00	828,77	16,23	54,00	1.552	0,011	Com.B.Horizonte
57			613.100	7.797.100	23,00	80,00	787,30	27,70	45,60	3.050	0,047	Com.B.Horizonte
58			613.200	7.997.400	-	62,00	853,00	12,00	40,00	2.000	0,019	Com.B.Horizonte
59			617.000	7.796.800	-	121,00	957,00	23,00	46,00	8.800	0,106	Grupo Sabará
60			617.400	7.796.200	-	53,00	979,00	21,00	29,00	1.670	0,057	Com.B.Horizonte
61			603.800	7.795.800	19,20	70,00	880,50	19,50	32,50	5.280	0,112	Com.B.Horizonte
62			606.000	7.795.600	-	86,00	886,00	4,00	46,00	2.600	0,017	Com.B.Horizonte
63			607.800	7.805.800	35,00	62,00	806,00	14,00	35,00	3.500	0,046	Com.B.Horizonte
64			609.800	7.795.300	35,50	120,00	902,80	7,20	39,07	2.500	0,030	Com.B.Horizonte
65			609.900	7.795.400	10,40	100,00	886,65	3,35	72,40	590	0,002	Com.B.Horizonte
65			610.600	7.795.900	38,50	86,00	853,00	7,00	55,00	4.800	0,027	Com.B.Horizonte
67			612.100	7.795.000	-	106,00	907,38	12,62	64,85	1.092	0,005	Grupo Sabará
68			612.100	7.795.700	32,00	50,00	872,60	12,00	30,00	2.200	0,033	F. Fecho do Funil
69			603.400	7.794.800	38,00	74,00	936,00	14,40	40,50	6.500	0,069	Com.B.Horizonte
70			603.600	7.794.900	43,20	97,00	938,00	12,00	25,00	13.000	0,277	Com.B.Horizonte
71			605.700	7.792.800	35,00	87,00	876,00	13,40	37,60	5.280	0,033	Com.B.Horizonte
72			605.900	7.792.500	51,00	56,00	894,00	16,00	20,00	8.000	0,555	Com.B.Horizonte
73			605.800	7.792.300	42,00	70,00	895,40	14,60	46,90	6.700	0,057	Com.B.Horizonte
74			606.000	7.792.700	42,50	87,00	880,10	14,90	38,90	14.400	0,166	Com.B.Horizonte
75			606.800	7.792.200	-	79,50	925,00	20,00	42,00	4.000	0,050	Grupo Sabará
76			611.400	7.793.700	-	86,00	942,90	2,10	20,00	7.500	0,116	Grupo Sabará
77			611.600	7.793.500	-	57,80	944,00	2,00	34,00	3.000	0,026	Grupo Sabará
78			612.000	7.793.200	-	85,00	987,69	12,31	45,80	7.000	0,058	F. Fecho do Funil
79			612.700	7.794.700	-	06,90	914,52	30,48	62,30	1.120	0,009	Grupo Sabará
80			613.100	7.794.600	-	70,00	948,00	7,00	45,00	1.000	0,007	Grupo Sabará

ANEXO 2.1 - POÇOS TUBULARES NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE

- Continuação -

Nº	PROPRIETÁRIO	LOCAL DO POÇO	COORDENADAS – UTM		ESPES. DA COB. – m	PROF. (m)	COTA DO NE - m	NE (m)	ND (m)	VAZÃO (l/h)	CAP.ESP. (l/s/m)	GEOLOGIA
			LONG.	LAT.								
81			613.200	7.793.900	-	80,00	1003,00	7,00	43,00	4.650	0,035	Grupo Sabará
82	Fundação Hilton Rocha	R. S. José do Patrocínio Pontes 1355	613.800	7.792.700	-	152,00	1130,00	20,00	90,00	1.300	0,005	Form. Gandarela
83			614.000	7.793.200	-	96,00	982,00	28,00	45,00	4.800	0,078	Form. Gandarela
84			602.300	7.790.600	40,00	72,00	941,70	13,30	52,00	5.100	0,036	Com.B.Horizonte
85	Mendes Junior Engenharia S.A.	R. Prof. Mário Werneck 121	602.500	7.791.200	32,20	77,00	906,12	8,88	41,84	6.000	0,050	Com.B.Horizonte
86			605.700	7.790.900	-	120,00	903,53	36,47	68,70	1.300	0,011	Grupo Sabará
87			609.600	7.791.400	-	80,00	1076,00	4,00	29,00	10.000	0,111	Form. Cercadinho
88	Shopping Center	Rod. BR-356 3049	610.400	7.791.000	-	98,00	1080,00	15,00	49,00	17.600	0,143	Form. Gandarela
89			603.900	7.788.200	-	115,00	952,58	7,42	43,73	6.400	0,048	Grupo Sabará
90			607.300	7.788.200	-	129,00	1121,00	29,00	77,25	1.500	0,008	Form. Gandarela
91			609.000	7.789.200	-	78,00	1122,00	28,00	58,00	450	0,004	Form. Gandarela
92	Posto Agro Jockey	Rod. MG-10 km 16	610.160	7.811.600	15,20	66,00	798,00	10,15	51,12	4.572	0,031	Com.B.Horizonte
93	Colônia do SESC de Venda Nova	R.Sandra Barros Amorim s/n	606.830	7.810.630	39,40	200,00	773,00	2,00	45,88	4.580	0,029	Com.B.Horizonte
94	Colônia do SESC de Venda Nova	R.Sandra Barros Amorim s/n	606.970	7.810.550	52,85	200,00	779,30	20,72	36,00	10.400	0,189	Com.B.Horizonte
95	Colônia do SESC de Venda Nova	R.Sandra Barros Amorim s/n	607.130	7.810.515	53,70	200,00	783,00	32,75	55,57	6.490	0,079	Com.B.Horizonte
96	Helmut 'Mitt	R.José Luiz Azevedo 150	611.456	7.809.512	10,00	100,00	763,70	2,10	65,88	776	0,003	Com.B.Horizonte
97	Calçados San Marino	R.Est. Velha de Sta. Luzia 1680	610.115	7.809.260	13,00	100,00	758,40	9,40	43,32	7.689	0,063	Com.B.Horizonte
98	Marcelo Hadad	R.Tipuana 100	610.708	7.809.171	26,95	78,00	765,70	12,50	56,60	2.951	0,018	Com.B.Horizonte
99	Shopping Norte Ltda.	Av. Vilarinho 1300	609.555	7.808.678	20,00	80,00	749,00	4,20	29,12	10.025	0,111	Com.B.Horizonte
100	Shopping Norte Ltda.	Av. Vilarinho 1300	609.565	7.808.680	20,00	96,00	748,62	4,78	43,25	11.314	0,081	Com.B.Horizonte
101	José Paulo de Souza	R. Teles de Menezes 335	608.300	7.806.310	48,00	79,00	793,30	11,00	58,00	846	0,005	Com.B.Horizonte
102	Rede Mineira de Hoteis	R. Antero de Quental 114	608.210	7.806.210	47,00	60,00	796,50	14,00	32,00	3.953	0,061	Com.B.Horizonte
103	Múrcio Teixeira Pinto	R Teles de Menezes 125	608.220	7.806.150	47,00	100,00	798,50	17,00	56,00	1.236	0,009	Com.B.Horizonte
104	Nelson Rodrigues Junior	R. Francisco Serrano Neves 38	606.787	7.805.683	48,00	70,00	792,70	12,30	46,99	4.450	0,035	Com.B.Horizonte
105	Posto Parada Obrigatória	Av. Portugal 4444	608.700	7.805.577	47,70	80,00	797,70	16,80	61,05	4.620	0,029	Com.B.Horizonte
106	Posto Jurema	Av. Portugal 5060	609.580	7.805.440	19,25	72,00	802,00	19,20	61,05	1.523	0,010	Com.B.Horizonte
107	Nacional Com. e Empr. Ltda.	Av. Dr.Otacílio N. de Lima 5724	607.335	7.803.697	43,60	100,00	803,00	2,90	53,00	9.729	0,005	Com.B.Horizonte
108	Lígia Matos	R. Alameda das Laltâneas 107	608.301	7.804.809	62,00	120,00	801,50	8,00	55,00	2.800	0,016	Com.B.Horizonte
109	Ronaldo José da Silva	R. Basilicata 358	605.450	7.804.184	74,00	120,00	801,20	23,82	62,38	4.425	0,031	Com.B.Horizonte
110	Jardim Zoológico	Av. Dr.Otacílio N. de Lima 8000	603.300	7.803.330	20,00	54,00	851,50	0,00	20,30	23.166	0,317	Com.B.Horizonte
111	Cruzeiro Esporte Clube	Av. Dr.Otacílio N. de Lima 7100	605.050	7.803.350	100,00	120,00	778,70	28,13	90,03	3.000	0,013	Com.B.Horizonte
112	Clesio Soares Andrade	Av. Novara 665	606.054	7.803.505	36,00	126,00	819,50	30,26	55,49	8.460	0,093	Com.B.Horizonte
113	Frigorífico São João	R. Walter Yanini 100	613.033	7.804.008	20,10	90,00	768,00	5,00	59,20	2.880	0,014	Com.B.Horizonte
114	Salermo Ind. de Alimentos Ltda.	R. Walter Yanini 90	613.038	7.804.002	28,00	90,00	769,65	4,15	39,07	10.285	0,114	Com.B.Horizonte
115	Viação Globo Ltda.	R. Carmelita Toledo 272	613.041	7.803.306	14,00	104,00	770,00	2,40	42,40	15.230	0,105	Com.B.Horizonte
116	Expresso Radar Ltda.	R. Modelo 216	612.045	7.802.913	39,00	66,00	776,40	6,00	43,00	3.730	0,028	Com.B.Horizonte
117	Frigorífico Modelo	R. Modelo 171	612.060	7.802.863	8,00	100,00	776,00	7,50	28,80	11.647	0,151	Com.B.Horizonte
118	Posto São Paulo	Av. Heráclito M. de Miranda 1850	604.144	7.801.751	20,00	70,00	806,62	5,38	48,84	2.016	0,012	Com.B.Horizonte
119	UFMG – Educação Física	Campus da Pampulha	607.370	7.802.118	52,00	101,00	807,93	5,37	64,69	2.520	0,011	Com.B.Horizonte
120	Cauemix S.A. Concreto	R. Prof. J. Vieira de Mendonça 1121	606.900	7.801.210	76,00	150,00	787,50	42,00	77,00	2.400	0,019	Com.B.Horizonte

ANEXO 2.1 - POÇOS TUBULARES NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE

- Continuação -

Nº	PROPRIETÁRIO	LOCAL DO POÇO	COORDENADAS – UTM		ESPES. DA COB. – m	PROF. (m)	COTA DO NE - m	NE (m)	ND (m)	VAZÃO (l/h)	CAP.ESP. (l/s/m)	GEOLOGIA
			LONG.	LAT.								
121	UFMG – Coltec	Campus da Pampulha	608.563	7.802.308	46,00	91,00	801,40	6,00	36,00	4.320	0,041	Com.B.Horizonte
122	Pão de Queijo SãoGeraldo	R. Alentejo 1235	609.375	7.802.186	41,00	80,00	812,20	6,00	46,60	5.408	0,037	Com.B.Horizonte
123	Lavandaria Fama Ltda.	R. Viseu 883	609.696	7.802.251	10,00	82,00	819,60	4,80	40,25	2329	0,018	Com.B.Horizonte
124	SGO Construções Ltd.	R Porto 475	609.267	7.801.616	27,75	70,70	823,15	21,85	39,60	8.000	0,125	Com.B.Horizonte
125	Expresso Santa Luzia Ltda.	Av. Cristiano Machado2900	612.132	7.801.370	23,00	70,00	790,00	8,00	21,55	15.320	0,314	Com.B.Horizonte
126	Ind. Com. de Bebidas Porto Novo	R. Maura 790	611.996	7.801.346	47,00	60,00	797,40	13,00	52,00	562	0,004	Com.B.Horizonte
127	Assoc. Cristã de Moços de MG	R. João Arantes 451	612.773	7.800.930	38,00	68,50	801,70	3,30	32,85	9.000	0,084	Com.B.Horizonte
128	Empresa Gontijo de Transportes Lt	R. Prof. J.Vieira de Mendonça 475	607.087	7.800.674	14,00	110,00	829,68	6,52	39,98	13.754	0,114	Com.B.Horizonte
129	Santa Maria Transportes Coletivos	R. Brig. Eduardo Gomes 1580	604.000	7.799.185	25,00	78,00	826,30	6,00	51,00	4.860	0,030	Com.B.Horizonte
130	Posto Camisa 12 Ltda.	R. Pres. Carlos Luz 638	608.345	7.798.903	51,80	76,00	870,35	7,15	53,35	9.103	0,054	Com.B.Horizonte
131	Stampus Industrial Ltda.	R. Itapecerica 218	610.758	7.798.153	27,30	96,00	811,00	33,20	55,75	2.178	0,026	Com.B.Horizonte
132	Concreto Redimix do Brasil S.A.	R. Araxá 127	610.956	7.798.224	23,00	64,00	847,00	7,40	49,55	2.852	0,019	Com.B.Horizonte
133	Viação Vera Cruz Ltda.	R. Astoufo Dutra 651	615.337	7.798.415	22,00	100,00	801,00	3,00	54,00	3.600	0,019	Com.B.Horizonte
134	Viação dos Sub-Tenentes	R. Caravelas 581	615.680	7.798.070	13,00	70,00	814,70	6,80	47,30	3.500	0,024	Grupo Sabará
135	América Futebol Clube	Av. Andradas3000	613.400	7.797.023	33,30	70,00	832,70	1,15	26,15	13.860	0,154	Com.B.Horizonte
136	Hotel California	R. Flor de Jambo 192	602.186	7.797.207	41,00	99,00	945,70	28,00	62,80	3.530	0,028	Com.B.Horizonte
137	Vips Administração e Serviços	R. Marcelo Coimbra Tavares 1	603.236	7.796.905	20,00	64,00	808,30	10,00	25,00	9.558	0,177	Com.B.Horizonte
138	Viação Anchieta	R. 31 de Março 229	604.972	7.797.134	52,20	102,00	-	-	-	-	-	Com.B.Horizonte
139	Vale da Barra Ltda.	Av. Ressaca 360	606.052	7.797.286	20,00	69,20	863,00	2,30	30,91	9.658	0,093	Com.B.Horizonte
140	Aurélio Cladio Noronha	R. Dom Joaquim Silvério 522	605.926	7.796.660	30,00	90,00	857,00	2,50	40,00	6.092	0,005	Com.B.Horizonte
141	Polícia Militar de Minas Gerais	R. Platina 580	608.536	7.796.925	-	120,00	-	-	-	-	-	Com.B.Horizonte
142	Hospital Semper S.A.	R. Estoril 2040	608.585	7.801.347	24,00	100,00	819,80	11,00	28,00	15.840	0,258	Com.B.Horizonte
143	Conopus Emp. e Incorporações	R. Gonçalves Dias 1860	610.760	7.795.992	20,00	48,50	851,00	4,80	30,76	29.000	0,310	Com.B.Horizonte
144	Antonio Alves de Souza	R. Joaquim G. Pimenta 688	602.387	7.795.080	12,00	75,00	918,80	9,00	59,00	1.080	0,006	Com.B.Horizonte
145	Inspetoria São João Bosco	Av. Amazonas 6825	605.405	7.795.450	25,40	120,00	873,00	15,77	67,05	3.300	0,017	Com.B.Horizonte
146	Polícia Militar de Minas Gerais	Av. Amazonas 6455	605.598	7.795.711	55,00	120,00	-	19,03	89,25	2.275	0,009	Com.B.Horizonte
147	Centro Fed.de Educ.Tecnol.de MG	Av. Amazonas 5253	607.147	7.796.002	50,00	100,00	862,00	27,00	-	0,00	-	Com.B.Horizonte
148	Posto Night and Day	Av. Barão Homem de Melo 400	607.532	7.795.072	55,00	130,00	871,60	3,30	90,50	2.514	0,008	Grupo Sabará
149	Canopus Empr. e Incorporações	R. Gen.Dionísio Cerqueira 345	609.255	7.795.304	18,00	95,00	830,00	12,45	72,64	2.000	0,009	Com.B.Horizonte
150	Posto Cabral Ltda.	Av. do Contorno 8249	609.642	7.795.503	24,50	110.00	890,40	18,00	65,00	3.200	0,019	Com.B.Horizonte
151	Canopus Empr. e Incorporações	R. Espírito Santo 2170	610.807	7.795.560	30,00	93,00	871,80	8,90	66,72	1.100	0,005	Com.B.Horizonte
152	Canopus Empr. e Incorporações	R. Santa Rita Durão	611.896	7.795.387	4,00	92,00	-	10,36	63,74	2.000	0,010	Com.B.Horizonte
153	Canopus Empr. e Incorporações	R. Piauí 1190	612.406	7.795.735	8,00	104,00	874,00	13,50	72,76	1.237	0,005	Com.B.Horizonte
154	Canopus Empr. e Incorporações	R. Piauí 1336	612.394	7.795.787	48,00	111,00	862,00	21,30	72,00	1.028	0,005	Com.B.Horizonte
155	Canopus Empr. e Incorporações	R. Gonçalves Dias 59	612.480	7.795.448	50,00	80,00	890,00	14,40	56,85	824	0,005	Com.B.Horizonte
156	Vitor Dequech	R. Santa Rita Durão 44	612.432	7.795.265	-	101,00	898,40	19,20	60,40	3.546	0,023	Com.B.Horizonte
157	Luiz Geraldo Oliveira Chaves	R. Nagib Jeha 133	613.496	7.794.147	0,00	90,00	955,00	49,70	64,00	6.793	0,131	F. Bar./Taboões
158	Posto Grajaú	Av. N. Sra. do Carmo 756	611.450	7.794.068	30,00	100,00	922,00	9,50	56.75	5.690	0,033	Grupo Sabará
159	Assoc. Min. de Proteção à Criança	R. Visconde de Cairu 75	604.030	7.794.007	37,00	71,00	909,00	14,00	50,00	2.592	0,020	Com.B.Horizonte
160	Viação Zurick Ltda.	Av. Capim Branco231	604.640	7.793.700	23,40	70,00	910,80	27,00	34,50	3.935	0,145	Com.B.Horizonte

ANEXO 2.1 - POÇOS TUBULARES NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE

- Continuação -

Nº	PROPRIETÁRIO	LOCAL DO POÇO	COORDENADAS – UTM		ESPES. DA COB. – m	PROF. (m)	COTA DO NE - m	NE (m)	ND (m)	VAZÃO (l/h)	CAP.ESP. (l/s/m)	GEOLOGIA
			LONG.	LAT.								
161	Posto Betânia	R. Úrsula Paulino 1292	605.924	7.792.834	101,00	122,00	877,40	12,00	70,00	2.923	0,014	Com.B.Horizonte
162	Pink Alimentos do Brasil	R. Úrsula Paulino 1321	605.995	7.792.780	18,00	100,00	876,75	16,25	54,66	3.232	0,023	Com.B.Horizonte
163	TV Bandeirantes	Av. Raja Gabaglia 2221	609.093	7.793.144	65,00	120,00	988,20	58,50	98,00	432	0,003	Grupo Sabará
164	Posto Premium	Av. Raja Gabaglia 2526	609.082	7.792.682	60,50	145,00	997,40	47,60	102,2	984	0,005	Grupo Sabará
165	Viação Carmo Sion Ltda.	R. Prof. Mello Cançado 275	612.120	7.792.755	0,00	120,00	1001,00	8,00	70,00	1.466	0,006	Formação Cauê
166	Spress Informática S.A.	Av. Barão Homem de Melo 3070	608.238	7.793.044	30,00	100,00	882,40	24,80	33,40	10.153	0,327	Grupo Sabará
167	Kepler Com.e Serviços Ltda.	R. Kepler 241	609.925	7.792.430	15,60	60,00	929,40	6,10	34,04	18.000	0,178	Grupo Sabará
168	Polimix Concreto Ltda.	R. Úrsula Paulino 2505	605.537	7.791.786	16,00	60,00	898,63	6,37	40,00	4.061	0,033	Grupo Sabará
169	Manesman S.A.	Av. Olinto Meireles 65	603.720	7.791.550	28,00	170,00	-	18,83	84,00	6.000	0,025	Com.B.Horizonte
170	Manesman S.A.	Av. Olinto Meireles 65	603.660	7.791.480	22,00	140,00	-	5,38	81,32	9.200	0,033	Com.B.Horizonte
171	Manesman S.A.	Av. Olinto Meireles 65	603.600	7.791.420	22,00	120,00	-	6,40	58,40	25.550	0,136	Com.B.Horizonte
172	Jorlan BH Ltda.	BR-356 km 466	610.140	7.790.940	59,00	135,00	1087,30	10,00	71,00	7.400	0,033	Formação Cauê
173	COPASA	BR-356 km 446	609.686	7.790.489	43,50	60,00	1045,13	11,17	14,59	180.000	15,015	Form. Gandarela
174	COPASA	BR-356 km 446	609.704	7.790.433	53,00	79,00	1148,58	14,92	41,27	144.000	1,518	Form. Gandarela
175	COPASA	BR-356 km 446	609.820	7.790.458	56,30	83,60	1030,00	24,00	29,00	72.000	3,590	Form. Gandarela
176	COPASA	BR-356 km 446	609.470	7.790.470	52,50	60,00	-	15,60	16,90	113.148	24,176	Form. Gandarela
177	Construtora H. Carvalho	R. Adelino Testes 251	606.000	7.793.130	80,00	100,00	-	-	-	-	-	Grupo Sabará
178	Geosol Geologia e Sondagens	R. São Vicente 255	608.795	7.809.370	0,00	135,40	-	62,60	64,20	3.000	0,520	Formação Cauê
179	Geosol Geologia e SondagensS	R. São Vicente 255	608.800	7.809.377	48,00	120,00	-	18,00	57,68	5.400	0,037	Form. Gandarela
180	Tirol Planas Ltda.	R. Bráulio Gomes Nogueira 170	600.312	7.789.920	34,00	60,00	944,50	4,00	34,00	6.922	0,064	Com.B.Horizonte
181	Toalheiro Brasil Ltda.	R. A 350- Dist.Indu. do Jatobá	600.280	7.788.790	34,00	108,00	940,30	9,00	42,00	8.835	0,071	Com.B.Horizonte
182	Indumil Ltda.	R. André Lirio 7	606.837	7.788.216	34,00	120,00	1085,70	72,00	92,00	10.285	0,142	Form. Cercadinho
183	TTM-Técnica e Telecom. e Mont.	R. São Pedro da Aldeia 928	607.430	7.787.930	98,00	160,00	1113,40	27,40	73,11	4.081	0,024	Form. Cercadinho
184	Topimix Eng.Tec.de Concreto	R. São Pedro da Aldeia 840	607.705	7.788.066	100,00	202,00	1090,00	48,00	103,0	6.000	0,030	Form. Gandarela
185	Getran-Gerais Transportes Ltda.	R. São Pedro da Aldeia 510	608.048	7.788.269	106,00	132,00	1122,00	8,00	70,00	3.600	0,016	Form. Gandarela
186	Central Beton Ltda.	R. São Pedro da Aldeia 1200	607.206	7.787.797	90,00	104,00	1148,67	30,83	64,40	4.235	0,035	Form. Gandarela
187	Viação Santa Edwiges	R. Flor de Pitangueira 119	601.580	7.786.003	26,45	69,00	983,06	3,74	44,76	13.334	0,090	Grupo Sabará
188	Carrefour Com.e Indústria Ltda.	Av. Pres. Carlos Luz	607.090	7.802.116	20,00	73,00	822,50	15,00	28,26	13.200	0,276	Com.B.Horizonte
189	Escola Estad. Pascoal Comanducci	R. João Nascimento Pires 240	611.474	7.810.105	45,60	85,00	790,00	35,84	66,24	985	0,009	Com.B.Horizonte
190	Jardim Zoológico	Av. Dr.Otacílio N. de Lima 8000	603.430	7.803.180	37,70	52,00	849,20	0,34	22,80	21.103	0,261	Com.B.Horizonte
191	Escola Estadual Carmo Giffoni	R. Colar 85	598.974	7.788.905	33,70	71,00	963,30	21,20	50,57	1.903	0,018	Com.B.Horizonte
192	COPASA	BR-040 – Viaduto do Motuca	608.280	7.787.980	90,00	100,00	-	30,00	66,96	2.129	0,016	Formação Cauê
193	Grupo Escolar J. Oswaldo Araujo	R. Prof. José Vieira de Mendonça	606.990	7.800.230	29,00	55,00	851,50	0,50	23,25	3.603	0,044	Com.B.Horizonte
194	UFMG – Belas Artes I	Campus da Pampulha	608.842	7.803.404	22,00	100,00	790,20	8,20	30,00	10.000	0,127	Com.B.Horizonte
195	UFMG – Belas Artes II	Campus da Pampulha	608.997	7.803.535	30,00	60,00	793,50	3,20	41,00	7.920	0,058	Com.B.Horizonte
196	UFMG – Belas Artes III	Campus da Pampulha	608.808	7.803.318	34,0	80,00	793,51	6,09	44,21	9.108	0,066	Com.B.Horizonte
197	UFMG – Belas Artes IV	Campus da Pampulha	608.690	7.803.140	24,00	80,00	793,70	8,00	34,11	2.200	0,234	Com.B.Horizonte
198	UFMG – Coltec 2	Campus da Pampulha	608.622	7.802.348	36,00	80,00	798,50	8,00	41,28	24.000	0,200	Com.B.Horizonte
199	Posto Itapoã	Av. Amazonas 2994	608.862	7.795.994	45,00	90,00	846,00	15,00	58,00	2.800	0,018	Com.B.Horizonte
200	Posto Marques de Miranda	Av. Amazonas 5234	607.088	7.796.073	51,00	100,00	856,70	26,00	65,00	2.500	0,017	Com.B.Horizonte

ANEXO 2.1 - POÇOS TUBULARES NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE

- Continuação -

Nº	PROPRIETÁRIO	LOCAL DO POÇO	COORDENADAS – UTM		ESPES. DA COB. – m	PROF. (m)	COTA DO NE - m	NE (m)	ND (m)	VAZÃO (l/h)	CAP.ESP. (l/s/m)	GEOLOGIA
			LONG.	LAT.								
201	Posto Urbano Ferraz	Av. Amazonas 5800	606.260	7.795.888	53,00	100,00	848,00	20,00	57,00	2.300	0,017	C.B.Horizonte
202	Posto dos Engenheiros	Av. dos Engenheiros 555	604.875	7.800.210	45,00	120,00	855,80	14,50	33,00	3.250	0,048	C.B.Horizonte
203	Posto Chaves	Av. Portugal 2061	607.034	7.805.347	43,00	80,00	824,20	9,00	53,00	5.500	0,015	C.B.Horizonte
204	Posto Legal	Av. André Cavalcanti 214	609.237	7.795.672	22,00	70,00	861,60	12,00	37,00	3.200	0,035	C.B.Horizonte
205	Posto Ponte Nova	Av. N.Sra. do Carmo 450	611.546	7.794.442	28,00	100,00	905,20	9,50	58,00	5.400	0,031	C.B.Horizonte
206	Posto Anchieta	Av. Pres. Carlos Luz 710	608.297	7.798.976	15,00	15,00	875,90	4,62	-	1.200	-	C.B.Horizonte
207	Posto Auto Smart	Av. Prof. J. V. de Mendonça 1435	609.196	7.801.370	75,00	130,00	781,00	44,00	65,00	2.800	0,037	C.B.Horizonte
208	Posto Trópico	Av. Pres. Antonio Carlos 6640	609.017	7.803.928	33,00	70,00	795,00	8,50	35,00	5.500	0,057	C.B.Horizonte
209	Posto Pole Position	Av. Pres. Antonio Carlos 6682	608.995	7.803.894	28,00	100,00	787,00	5,00	40,00	7.600	0,060	C.B.Horizonte
210	Edf. Mar del Plata	Rua do Ouro 1200	613.050	7.794.645	53,00	101,00	942,70	12,30	56,60	3.000	0,018	Grupo Sabará
211	Edf. Lar Palmar	R. Samuel Pereira 20	612.158	7.793.485	30,00	120,00	956,00	7,60	62,24	1.123	0,005	Grupo Sabará
212	Edf. San Martin	R. Samuel Pereira 14	612.154	7.793.504	22,00	120,00	958,20	4,30	61,26	1.400	0,006	Grupo Sabará
213	Canopus Emp. e Inc. Ltda.	R. Luiz Paulo Francisco 655	610.980	7.791.075	52,00	131,00	1089,00	50,00	63,00	15.800	0,337	Formação Cauê
214	Construtora NJR	R. Ivaí 58	613.146	7.794.210	48,00	102,00	972,50	11,30	52,32	2.514	0,017	Grupo Sabará
215	Hospital Felício Roxo	Av. do Contorno 9530	609.180	7.796.720	-	130,00	-	16,00	46,00	6.048	0,056	C.B.Horizonte
216	Hospital Vera Cruz	Av. Barbacena 653	609.650	7.795.640	30,00	87,00	855,50	20,00	45,00	9.990	0,111	C.B.Horizonte
217	Hospital da Polícia Militar	Av. do Contorno 6787	612.875	7.796.953	6,80	65,30	830,90	8,00	39,00	5.022	0,045	C.B.Horizonte
218	Hospital da Santa Casa	Av. Francisco Sales 1111	612.520	7.796.506	25,00	48,00	849,00	6,00	-	-	-	C.B.Horizonte
219	Hospital Sara Kubitscheck	Av. Amazonas 5953	606.000	7.795.610	31,00	76,00	-	0,80	-	8.000	-	C.B.Horizonte
220	Casa de Saúde Santa Clara	R. Viçosa 43	611.180	7.794.730	73,00	73,00	-	6,00	36,00	4.104	0,038	C.B.Horizonte
221	Brasil Beton S.A.	Rod. BR-262 – km 4,5	606.520	7.799.276	32,00	80,00	869,00	16,50	50,36	8.516	0,069	C.B.Horizonte
222	Cond. Edf. Pablo Neruda	R. Rio de Janeiro 2299	610.680	7.795.470	25,40	100,00	-	5,70	63,20	4.981	0,024	C.B.Horzonte
223	Motel Alphaville	R. D. Onorina 32	606.980	7.800.296	38,45	70,00	833,00	11,00	36,60	6.711	0,073	C.B.Horizonte
224	SENAI	R. São Jerônimo 1717	613.928	7.799.597	55,00	130,00	819,80	8,00	84,00	1.342	0,005	C.B.Horizonte
225	Colortextil Ltda.	R. Barão de Monte Alto 249	604.026	7.788.458	30,00	80,00	961,35	3,15	20,49	20.500	0,328	Form. Cercadinho
226	Colortextil Ltda.	R. Barão de Monte Alto 249	603.975	7.788.445	30,00	100,00	-	12,00	22,00	20.000	0,555	Form. Cercadinho
227	Refrigerante Minas Gerais Ltda.	BR-262 – km 2	608.140	7.800.780	28,00	120,00	829,22	4,28	64,76	16.850	0,077	C.B.Horizonte
228	Refrigerante Minas Gerais Ltda.	BR-262 – km 2	608.190	7.800.710	17,00	120,00	830,35	3,15	66,28	14.660	0,064	C.B.Horizonte
229	Refrigerante Minas GeraisLtda.	BR-262 – km 2	608.190	7.800.810	23,84	110,00	830,90	2,60	60,62	7.760	0,037	C.B.Horizonte
230	Posto Jacinto Ltda.	Av. JoãoSamaha, 1.250	608.530	7.807.893	30,00	93,00	764,50	9,00	31,00	9.900	0,125	C.B.Horizonte
231	Cond. Edif. Segovia	R. La Plata 49	611.607	7.793.335	34,00	160,00	945,00	35,00	120,0	2.030	0,006	Grupo Sabará
232	Hospital Luxemburgo	R. Gentios, 1350	608.975	7.793.640	20,00	160,00	995,20	29,80	130,1	800	0,002	Grupo Sabará
233	Dom & Ferreira Empreendim	Av. Barão Homem de Melo, 3153	608.610	7.792.160	29,00	100,00	-	7,00	48,60	9.300	0,062	C.B.Horizonte
234	Canopus Emp. Inc. Ltda.	R. Ceará, 1284	612.135	7.795.620	48,00	100,00	866,70	16,30	53,12	3.500	0,026	C.B.Horizonte
235	Clube Atlético Mineiro	Av. Portugal 4.020	608.475	7.805.570	60,00	100,00	796,30	20,70	53,00	5.657	0,048	C.B.Horizonte
236	Cond. Edif. L'Hermitage	R. Grão Pará, 895	612.715	7.795.920	14,00	100,00	872,60	11,90	58,50	1.285	0,007	C.B.Horizonte
237	Santa Juliana Empreendim. Ltda.	R. Prof. Vieira Mendonça 1121-B	607.020	7.801.430	60,00	162,00	-	15,00	81,60	1.210	0,005	C.B.Horizonte
238	Supermercado Mineirão	R. Prudente de Morais, 520	610.096	7.794.848	20,00	102,00	871,00	2,42	41,80	4.605	0,032	C.B.Horizonte
239	Vicente Bretz da Silva	R. Prudente de Morais	610.140	7.795.000	22,00	100,00	867,20	5,80	57,50	4.450	0,024	Grupo Sabará
240	Minas Tenis II	Av. Bandeirantes, 2323	613.230	7.794.190	30,00	152,00	974,80	10,05	59,96	5.004	0,028	C.B.Horizonte

ANEXO 2.1 - POÇOS TUBULARES NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE

- Continuação -

Nº	PROPRIETÁRIO	LOCAL DO POÇO	COORDENADAS – UTM		ESPES. DA COB. – m	PROF. (m)	COTA DO NE - m	NE (m)	ND (m)	VAZÃO (l/h)	CAP.ESP. (l/s/m)	GEOLOGIA
			LONG.	LAT.								
241	Mate Couro S.A.	Rua Ninive, 640	602.831	7.799.308	15,00	102,00		7,46	57,40	7.410	0,041	C.B.Horizonte
242	Mate Couro S.A.	Rua Ninive, 640	602.859	7.799.375	28,00	70,00		2,00	35,00	15.000	0,126	C.B.Horizonte
243	Mate Couro S.A.	Rua Ninive, 640	602.931	7.799.457	10,00	101,00		2,85	32,13	17.140	0,162	C.B.Horizonte
244	Mate Couro S.A.	Rua Ninive, 640	603.007	7.799.552	27,00	75,00		2,00	35,00	10.000	0,084	C.B.Horizonte
245	Mate Couro S.A.	Rua Ninive, 640	603.087	7.799.590	5,00	82,00		3,63	43,52	11.410	0,079	C.B.Horizonte
246	Mate Couro S.A.	Rua Ninive, 640	602.968	7.799.506	10,00	100,00		7,12	42,90	7.416	0,057	C.B.Horizonte
247	Horizonte Textil Ltda.	Av. Bernardo de Vasconcelos, 638	610.303	7.800.534	34,68	63,00		2,13	23,48	8.600	0,111	C.B.Horizonte
248	Horizonte Textil Ltda.	Av. Bernardo de Vasconcelos, 638	610.435	7.800.561	32,29	44,00		5,52	20,28	6.000	0,113	C.B.Horizonte
249	Horizonte Textil Ltda.	Av. Bernardo de Vasconcelos, 638	610.393	7.800.695	13,97	61,00		5,63	35,56	2.478	0,022	C.B.Horizonte
250	Horizonte Textil Ltda.	Av. Bernardo de Vasconcelos, 638	610.229	7.800.752	21,50	37,40		12,39	18,17	6.890	0,331	C.B.Horizonte
251	Horizonte Textil Ltda.	Av. Bernardo de Vasconcelos, 638	610.221	7.800.821	25,23	71,40		10,87	41,36	4.660	0,042	C.B.Horizonte
252	Horizonte Textil Ltda.	Av. Bernardo de Vasconcelos, 638	610.207	7.800.662	22,95	70,30		7,30	39,60	5.460	0,047	C.B.Horizonte
253	Horizonte Textil Ltda.	Av. Bernardo de Vasconcelos, 638	610.333	7.800.591	47,22	96,00		6,87	66,50	1.038	0,004	C.B.Horizonte
254	Horizonte Textil Ltda.	Av. Bernardo de Vasconcelos, 638	610.263	7.800.764								C.B.Horizonte
255	Horizonte Textil Ltda.	Av. Bernardo de Vasconcelos, 638	610.367	7.800.696								C.B.Horizonte
256	Horizonte Textil Ltd.	Av. Bernardo de Vasconcelos, 638	610.200	7.800.725								C.B.Horizonte
257	Manesman S.A.	Av. Olinto de Meireles, 65	603.087	7.791.479	34,00	120,00		4,00	71,00	2.730	0,011	C.B.Horizonte
258	Manesman S.A.	Av. Olinto de Meireles, 65	603.121	7.791.467	28,00	100,00		5,30	32,63	10.580	0,107	C.B.Horizonte

ANEXO 2.2 - ENSAIOS DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

TESTE DE RECUPERAÇÃO – "SLUG TEST"

Nº	COORDENADAS – UTM		LOCAL	r - cm	R - cm	L - cm	To - s	K – cm/s	GEOLOGIA
	LONG.	LATIT.							
ST-1	608.740	7.799.660	Cemitério da Paz	2,54	5,08	200	420	$1,40 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
ST-2	608.155	7.793.990	Antigo Lixão	2,54	5,08	200	265	$2,23 \times 10^{-4}$	Grupo Sabará
ST-3	614.300	7.805.320	Ribeirão da Onça	2,54	5,08	200	135	$4,38 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
ST-4	611.500	7.797.640	Rio Arrudas	2,54	5,08	200	195	$3,03 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
ST-5	605.540	7.794.030	Cemit. Parque da Colina	2,54	5,08	200	410	$1,44 \times 10^{-4}$	Grupo Sabará

TESTE DE REBAIXAMENTO – Gilg & Gavard (1957)

Nº	COORDENADAS – UTM		d_1 - cm	d - cm	L - cm	ho - cm	Δh - cm	Δt - s	K – cm/s	GEOLOGIA
	LONG.	LATIT.								
TR-1	608.760	7.802.640	10,40	10,00	150	170	30	190	$3,0 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
TR-2	603.410	7.797.470	10,40	10,00	140	165	20	300	$1,3 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
TR-3	607.870	7.791.510	10,40	10,00	145	170	15	620	$4,7 \times 10^{-5}$	Grupo Sabará
TR-4	609.950	7.790.500	10,40	10,00	150	160	20	440	$9,2 \times 10^{-5}$	Formação Gandarela
TR-5	611.590	7.792.000	10,40	10,00	140	170	25	520	$9,4 \times 10^{-5}$	Formação Gandarela
TR-6	614.590	7.793.500	10,40	10,00	145	160	15	380	$8,1 \times 10^{-5}$	Formação Gandarela
TR-7	610.350	7.809.200	10,40	10,00	150	170	30	320	$1,8 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
TR-8	606.950	7.810.400	10,40	10,00	140	170	25	260	$1,9 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
TR-9	608.860	7.810.000	10,40	10,00	150	165	30	220	$2,6 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
TR-10	606.640	7.807.020	10,40	10,00	145	160	35	200	$3,6 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
TR-11	609.620	7.804.500	10,40	10,00	145	165	30	180	$3,3 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
TR-12	611.900	7.806.980	10,40	10,00	140	160	25	150	$3,5 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.

TR-13	603.950	7.803.890	10,40	10,00	150	160	40	250	$3,2 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
TR-14	606.300	7.800.980	10,40	10,00	145	170	20	280	$1,4 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
TR-15	606.600	7.795.530	10,40	10,00	150	165	20	370	$1,0 \times 10^{-4}$	Grupo Sabará
TR-16	613.800	7.794.490	10,40	10,00	140	160	15	500	$6,2 \times 10^{-5}$	Grupo Sabará
TR-17	610.200	7.793.540	10,40	10,00	145	170	25	450	$1,1 \times 10^{-4}$	Grupo Sabará
TR-18	610.200	7.791.810	10,40	10,00	150	160	30	110	$5,5 \times 10^{-4}$	Form. Cercadinho
TR-19	607.220	7.787.990	10,40	10,00	140	165	20	420	$9,6 \times 10^{-5}$	Formação Gandarela
TR-20	614.940	7.796.480	10,40	10,00	150	170	15	460	$6,2 \times 10^{-5}$	Grupo Sabará
TR-21	610.400	7.800.520	10,40	10,00	145	170	20	320	$1,2 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
TR-22	612.020	7.803.210	10,40	10,00	140	160	25	250	$2,0 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
TR-23	617.240	7.795.800	10,40	10,00	150	165	20	470	$8,3 \times 10^{-5}$	Formação Gandarela
TR-24	613.880	7.806.475	10,40	10,00	145	165	30	220	$2,7 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
TR-25	617.040	7.803.980	10,40	10,00	140	170	25	170	$2,9 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
TR-26	612.630	7.798.790	10,40	10,00	150	160	30	160	$3,8 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
TR-27	613.640	7.793.520	10,40	10,00	150	165	30	90	$6,5 \times 10^{-4}$	Form. Cercadinho
TR-28	614.860	7.798.790	10,40	10,00	140	170	25	280	$1,7 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
TR-29	611.450	7.796.700	10,40	10,00	145	160	30	350	$1,8 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
TR-30	605.810	7.796.850	10,40	10,00	150	165	25	320	$1,5 \times 10^{-4}$	Compl. Belo Horiz.
TR-31	603.610	7.785.505	10,40	10,00	140	160	20	510	$8,2 \times 10^{-5}$	Formação Gandarela
TR-32	605.420	7.789.520	10,40	10,00	145	170	15	450	$6,4 \times 10^{-5}$	Grupo Sabará
TR-33	601.800	7.788.980	10,40	10,00	150	170	20	480	$7,9 \times 10^{-5}$	Grupo Sabará
TR-34	606.570	7.791.750	10,40	10,00	145	165	20	400	$9,9 \times 10^{-5}$	Compl. Belo Horiz.
TR-35	617.180	7.797.190	10,40	10,00	150	160	15	530	$5,7 \times 10^{-5}$	Grupo Sabará

ANEXO 3.1 - ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS POÇOS DO COMPLEXO BELO HORIZONTE

Nº DO POÇO	pH in natura	COR mg/lKPtCl	TURBIDEZ NTU	COND.EL. µS/cm	SOL.DIS. mg/l	SOL.SUSP. mg/l	SOL.TOT. mg/l	DUR. Ca mg/l$CaCO_3$	DUR. Mg mg/l$CaCO_3$	DUR. TOT. mg/l$CaCO_3$	ALC.BI mg/lCaC
05	7,61	8,00	1,20	83,33	79,00	7,00	86,00	16,00	20,00	36,00	46,84
06	6,60	12,50	2,00	20,00	-	-	52,00	-	-	36,00	46,00
07	7,84	6,00	2,90	122,37	116,00	8,00	124,00	28,30	16,78	45,08	72,45
11	7,80	22,50	34,00	79,00	-	-	80,00	-	-	38,00	38,00
12	7,86	2,00	67,00	131,62	124,80	55,00	179,80	30,19	26,41	56,60	89,06
17	7,97	<1,00	2,00	112,56	106,70	12,00	118,70	21,00	25,00	46,00	63,00
18	7,83	<1,00	3,80	448,80	321,30	20,00	341,30	108,00	54,00	162,00	73,00
20	6,70	15,00	7,00	20,00	-	-	98,00	-	-	48,00	76,00
21	5,60	-	1,50	100,00	-	-	104,00	-	-	72,00	38,00
23	7,80	7,50	5,00	50,00	-	-	127,50	64,00	12,00	76,00	86,00
24	7,06	2,50	1,25	56,90	53,90	6,00	59,90	9,30	7,70	17,00	24,80
29	7,27	20,00	4,00	242,00	186,10	10,00	196,10	56,00	36,00	92,00	52,04
36	7,63	10,00	15,00	119,00	113,20	14,00	127,20	28,87	24,74	53,61	63,59
38	7,52	7,50	0,78	199,10	153,10	2,00	155,10	52,00	48,00	100,00	63,65
39	7,70	1,00	0,50	106,86	101,20	22,00	123,20	22,80	26,60	49,40	30,00
41	7,40	5,00	77,50	50,00	-	-	199,20	36,00	12,00	48,00	76,00
42	7,10	8,00	1,00	105,32	99,80	6,00	105,80	23,76	19,80	43,56	63,81
45	7,40	50,10	5,00	60,00	-	-	95,20	-	-	80,00	67,00
46	7,87	<1,00	0,24	99,60	94,40	4,20	98,60	18,65	20,73	39,38	54,63
47	7,71	15,00	53,00	89,70	85,00	-	145,00	19,95	7,98	27,93	-
50	6,30	2,50	traços	41,00	-	-	77,00	-	-	44,00	46,00
51	7,80	-	3,90	50,00	-	-	96,90	32,00	16,00	48,00	70,00
52	7,41	5,00	0,60	108,60	102,90	1,50	104,40	24,99	26,93	51,92	54,45
54	7,73	1,00	0,80	92,00	87,20	8,60	95,80	20,00	24,00	44,00	53,00
64	6,91	5,00	5,10	92,99	69,60	12,00	81,60	20,41	6,12	26,53	25,95
69	7,13	2,00	0,35	108,61	103,00	4,00	107,00	28,00	32,00	60,00	56,77
70	6,87	<1,00	2,00	32,90	31,20	12,00	43,20	5,50	7,50	12,50	16,50
85	7,24	2,50	1,25	69,10	65,50	10,00	75,50	14,70	5,50	20,20	45,80
92	8,00	<1,00	<1,00	2,70	-	-	-	60,00	65,00	125,00	90,00
96	7,76	<1,00	1,20	137,70	130,50	3,00	133,50	43,40	13,20	56,60	74,00
97	7,51	<5,00	0,20	101,00	78,00	1,00	79,00	50,10	30,10	80,20	77,70
98	8,10	1,00	2,30	92,40	-	-	-	20,00	13,00	33,00	45,00
99	6,89	1,00	0,20	236,48	181,90	5,00	186,90	54,72	39,62	94,34	50,89

100	7,57	<5,00	0,60	141,00	120,00	2,00	122,00	49,30	25,60	74,90	68,30
104	7,28	,1,00	1,60	86,54	82,00	7,00	89,00	18,87	3,77	22,64	49,30
105	8,20	<1,00	1,50	170,60	-	-	-	60,60	<1,00	60,60	50,00
106	7,50	2,50	5,00	160,00	-	-	-	12,00	2,00	14,00	20,00
107	8,20	1,00	1,90	155,20	-	-	-	46,00	18,00	64,00	96,00
108	7,47	12,00	3,50	110,30	104,60	10,00	114,60	18,87	9,43	28,30	54,78
109	6,93	10,00	15,00	58,00	-	-	-	31,80	21,20	53,00	52,00
111	6,69	<5,00	8,00	145,00	97,00	39,00	136,00	45,10	9,80	54,90	72,00
112	7,17	<1,00	0,80	98,16	93,00	1,00	94,00	30,19	11,32	41,51	61,00
113	7,60	15,00	3,50	147,60	-	-	-	32,00	17,00	49,00	72,00
115	7,53	<5,00	1,50	176,00	157,00	6,00	163,00	60,00	26,00	86,00	78,00
118	8,10	<5,00	1,50	125,00	108,00	-	-	40,00	30,60	70,10	77,80
120	7,94	20,00	25,00	85,00	32,00	82,00	114,00	44,30	38,40	82,70	103,20
123	7,62	<5,00	0,80	199,00	161,00	-	-	60,10	32,00	92,10	82,00
124	7,50	20,00	40,00	149,90	-	-	-	39,00	25,00	64,00	83,00
125	7,60	10,00	1,30	157,90	-	-	-	22,00	19,00	41,00	64,00
128	7,08	10,00	174,00	244,63	188,10	270,00	458,10	41,51	15,09	56,60	72,50
130	8,10	<1,00	0,50	204,00	-	-	-	52,00	22,00	74,00	86,00
131	7,80	<1,00	0,54	172,80	-	-	-	44,00	23,00	67,00	78,00
132	7,60	7,50	4,50	381,00	-	-	-	75,00	27,00	102,00	38,00
133	7,71	<5,00	1,50	233,00	200,00	5,00	205,00	84,70	27,60	112,30	104,50
136	7,70	<1,00	2,10	99,20	-	-	-	20,00	11,00	31,00	52,00
138	7,89	<5,00	<1,00	88,00	109,00	8,00	117,00	25,00	13,00	38,00	76,00
139	6,90	<1,00	9,40	193,77	149,01	31,00	180,00	37,74	24,52	62,26	41,67
140	7,90	<1,00	1,40	105,60	101,10	1,00	102,10	26,41	9,44	35,85	50,80
142	7,00	<1,00	0,45	164,11	155,50	1,00	156,50	37,74	20,75	58,49	52,00
143	6,87	<1,00	0,36	95,92	90,90	21,00	111,90	22,64	7,55	30,19	34,34
145	8,10	<1,00	<1,00	111,50	-	-	-	28,00	17,00	45,00	62,00
149	6,41	<1,00	1,00	114,16	108,20	6,00	114,20	22,64	11,32	33,96	45,96
150	7,10	<1,00	<1,00	161,40	-	-	-	28,00	13,00	41,00	23,00
151	8,01	1,00	0,90	120,90	114,70	3,00	117,70	30,19	5,66	35,85	69,35
153	7,31	<1,00	1,00	114,30	108,40	10,00	118,40	22,64	1,51	24,15	63,50
154	7,94	<1,00	1,00	99,48	94,30	3,00	97,30	22,64	9,43	32,07	60,00
155	7,33	10,00	15,00	159,00	118,00	17,00	135,00	50,10	32,10	82,20	74,80
156	7,20	<1,00	1,50	143,30	-	-	-	8,00	23,00	31,00	27,00
160	6,20	<1,00	<1,00	103,00	105,00	<1,00	105,00	10,00	18,00	28,00	21,20
162	7,46	5,00	6,00	114,00	84,00	-	-	34,00	32,10	66,10	68,00

169	7,94	<5,00	0,60	119,00	102,00	8,00	110,00	33,30	19,60	52,90	70,40
170	7,52	<5,00	6,00	128,00	102,00	27,00	129,00	29,60	19,40	49,00	84,10
171	7,83	<5,00	0,20	156,00	142,00	6,00	148,00	39,20	33,30	72,50	83,00
180	7,64	4,00	1,00	86,23	81,70	3,00	84,70	18,87	7,54	26,41	50,90
188	7,27	<5,00	0,30	98,00	85,00	-	-	46,00	40,10	86,10	78,10
199	6,20	<1,00	<1,00	141,00	148,00	<1,00	148,00	26,00	14,00	40,00	22,00
201	6,70	<1,00	<1,00	138,00	122,00	<1,00	122,00	26,00	14,00	40,00	49,50
202	7,43	<1,00	1,50	117,00	95,20	<1,00	95,20	23,30	35,30	58,60	78,30
203	6,17	<1,00	1,00	75,90	94,60	<1,00	94,60	22,00	8,00	30,00	44,40
204	6,62	<1,00	80,00	411,00	172,00	20,40	192,40	50,00	20,00	70,00	167,00
205	5,72	<1,00	<1,00	113,00	84,60	<1,00	84,60	10,00	34,00	44,00	20,20
206	5,75	<1,00	25,00	170,00	87,60	7,80	95,40	28,00	14,00	42,00	48,50
207	6,16	<1,00	<1,00	152,00	144,00	<1,00	144,00	38,00	28,00	66,00	83,00
208	7,41	<1,00	<1,00	90,40	109,00	<1,00	109,00	24,00	18,00	42,00	56,00
209	6,91	<1,00	<1,00	154,00	136,00	<1,00	136,00	40,00	16,00	56,00	92,00
221	7,41	<1,00	2,00	68,00	-	-	-	12,30	6,20	18,50	27,80
222	8,07	<1,00	1,50	78,60	-	-	-	16,00	8,00	24,00	43,40
223	7,71	<1,00	<1,00	144,00	-	-	-	46,00	2,00	48,00	60,00
224	7,71	30,00	2,00	127,00	-	-	-	30,00	14,00	44,00	65,00
227	6,02	<5,00	1,00	444,00	426,00	-	-	-	-	134,30	-
228	6,69	<5,00	1,00	416,00	359,00	-	-	-	-	128,70	-
229	6,20	<5,00	0,50	406,00	285,00	-	-	-	-	156,70	-
230	6,68	<2,00	5,50	134,90	106,00	-	-	-	-	108,00	-
233	6,98	3,00	0,20	110,80	136,00	-	-	-	-	61,00	-
234	6,56	4,00	1,00	117,00	130,00	-	-	-	-	45,10	-
235	7,30	<2,00	0,20	130,00	120,00	-	-	-	-	49,00	-
236	7,31	2,00	0,80	234,00	186,00	-	-	-	-	53,00	-
237	6,74	2,00	0,60	138,70	80,00	-	-	-	-	67,00	-
241	7,09	<2,00	0,15	189,50	166,70	-	-	38,20	24,20	62,40	52,00
243	7,22	1,00	0,40	135,60	119,33	-	-	26,00	16,00	42,00	66,78
244	7,20	5,00	-	-	-	-	89,50	18,00	-	18,00	35,00
245	7,00	1,00	0,20	215,00	189,20	-	-	46,00	32,00	78,00	86,92
257	7,29	10,00	2,00	110,00	79,00	7,00	86,00	27,40	23,50	50,90	58,00
258	7,45	<5,00	0,70	96,00	84,00	-	-	-	-	55,90	-

ANEXO 3.1 - ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS POÇOS DO COMPLEXO BELO HORIZONTE - Continuação

Nº DO POÇO	N amoniac. mg/l N	N orgânico mg/l N	N nitroso mg/l N	N nítrico mg/l N	CLORETO mg/l	SULFATO mg/l	CÁLCIO mg/l	MAGNES. mg/l	SÓDIO mg/l	FERRO mg/l	MANGA mg/l
05	<0,05	0,20	<0,001	<0,05	0,50	<0,10	6,40	4,86	-	0,45	<0,01
06	0,075	-	traços	0,15	1,50	1,50	-	-	-	0,25	0,10
07	<0,05	0,22	<0,001	0,08	1,48	<0,10	11,32	4,08	-	0,50	0,05
11	-	-	0,0015	0,01	0,25	3,00	-	-	-	3,76	0,15
12	<0,05	0,17	<0,001	0,43	0,50	<0,10	12,08	6,42	-	1,38	0,05
17	<0,05	0,10	<0,001	<0,05	0,49	0,50	8,40	6,25	-	0,14	<0,05
18	0,05	<0,05	0,004	11,90	6,22	19,80	43,20	13,50	-	0,43	<0,05
20	0,08	-	0,010	0,01	10,50	2,80	-	-	-	1,98	0,15
21	0,05	-	-	0,45	4,00	1,00	-	-	-	-	-
23	<0,05	-	<0,001	0,22	0,50	2,00	25,60	3,00	-	0,60	<0,05
24	<0,05	2,50	<0,002	0,24	1,49	2,75	3,72	1,93	-	0,10	<0,01
29	<0,05	0,41	0,017	7,50	18,14	<0,10	22,40	9,00	-	0,90	<0,01
36	<0,05	0,65	<0,001	<0,50	2,06	<0,10	11,55	6,19	-	1,40	<0,01
38	<0,05	0,79	<0,001	7,37	11,29	<0,10	20,80	12,00	-	0,52	<0,01
39	0,10	0,05	<0,001	<0,05	0,25	<0,10	9,12	6,65	-	0,10	<0,05
41	0,43	-	<0,001	0,22	3,00	4,00	14,40	3,00	-	1,50	0,40
42	0,18	0,12	<0,001	0,11	1,52	<0,10	9,50	4,81	-	0,20	0,05
45	0,08	-	0,008	0,30	4,00	3,00	-	-	-	0,20	0,10
46	<0,05	0,92	<0,001	<0,05	0,97	1,50	7,46	5,18	-	0,02	<0,01
47	<0,05	1,05	<0,001	<0,05	<0,25	<0,10	7,98	1,99	-	0,45	<0,04
50	0,05	-	traços	0,50	2,85	0,50	-	-	-	0,05	0,10
51	<0,05	-	<0,001	5,32	1,00	<0,10	-	-	-	<0,10	<0,05
52	<0,05	1,51	<0,001	2,21	<0,25	<0,10	10,00	6,73	-	0,38	<0,01
54	<0,05	0,60	0,001	<0,05	0,50	<0,10	8,00	6,00	-	0,90	<0,05
64	<0,05	0,29	0,003	4,09	4,34	<0,10	8,16	1,53	-	0,50	<0,01
69	0,05	0,14	<0,001	2,09	2,25	2,50	11,20	8,00	-	0,08	<0,01
70	<0,05	0,18	<0,001	0,20	1,05	0,50	2,20	1,88	-	0,35	<0,03
85	<0,05	0,40	<0,001	0,09	0,50	1,50	5,88	1,38	-	0,20	<0,03
92	<0,05	<0,50	<0,01	4,51	10,90	1,40	24,00	15,80	5,70	<0,05	<0,05
96	<0,05	<0,05	0,02	0,48	3,53	3,75	17,36	3,21	-	0,08	<0,05
97	<0,05	<0,05	0,005	0,06	8,10	<1,00	20,00	7,30	-	0,20	<0,10
98	<0,05	<0,05	<0,01	0,30	2,60	<0,50	13,30	3,80	16,00	0,32	0,09
99	<0,05	0,08	0,006	14,81	18,69	<0,10	21,89	9,63	-	0,08	<0,05

100	<0,05	-	<0,005	2,26	13,60	2,30	19,70	6,20	-	0,13	<0,05
104	0,05	<0,05	0,001	<0,01	0,76	0,99	7,55	0,92	-	0,40	<0,05
105	-	-	-	0,77	3,10	0,28	-	-	9,10	<0,05	<0,05
106	-	-	-	7,54	2,60	0,28	-	-	26,90	0,13	0,05
107	<0,05	<0,05	<0,01	<0,05	1,40	0,80	18,50	4,40	16,20	0,16	<0,05
108	<0,05	<0,05	0,006	<0,01	1,52	0,63	7,55	2,29	-	1,14	<0,05
109	-	-	-	<0,05	2,00	5,80	12,70	5,20	-	0,31	0,20
111	-	-	-	<0,05	4,40	<1,00	18,00	2,40	-	0,38	0,20
112	<0,05	<0,05	<0,001	0,02	<0,25	3,00	12,08	2,75	-	0,09	0,06
113	0,05	0,27	<0,01	3,05	2,60	1,10	-	-	11,70	<0,05	<0,05
115	<0,05	-	<0,005	0,36	16,30	2,50	24,00	0,05	-	0,12	0,05
118	-	-	-	<0,05	0,50	<1,00	16,00	<0,10	-	0,49	<0,10
120	<0,05	<0,05	<0,005	0,10	3,80	<1,00	17,70	9,30	-	2,51	0,83
123	-	-	-	-	20,60	1,80	24,00	7,80	-	0,42	<0,10
124	0,05	2,10	<0,01	<0,05	4,50	1,10	-	-	7,30	2,30	<0,05
125	0,06	0,55	<0,01	0,97	3,30	0,50	-	-	10,80	<0,05	<0,05
128	0,08	<0,05	<0,001	1,85	6,07	<0,10	16,60	3,67	-	9,48	0,11
130	-	-	-	1,56	8,90	0,14	-	-	10,80	<0,05	<0,05
131	<0,05	<0,50	<0,01	1,10	4,10	1,10	13,70	4,30	14,90	0,18	<0,05
132	0,19	0,66	0,01	21,00	33,20	0,50	-	-	20,90	0,05	<0,05
133	-	-	-	14,30	21,20	<1,00	33,90	6,70	-	0,47	<0,10
136	<0,05	<0,05	<0,01	<0,05	2,40	15,10	7,90	2,70	12,20	0,21	<0,05
138	<0,05	<0,05	<0,005	0,12	6,40	6,60	10,00	3,20	-	<0,10	<0,10
139	<0,05	<0,05	0,007	3,02	18,66	0,79	15,10	5,96	-	1,08	0,06
140	<0,05	<0,05	0,006	0,87	<0,25	<0,10	10,56	2,29	-	0,20	<0,05
142	<0,05	<0,05	0,003	5,14	9,09	0,19	15,10	5,04	-	0,08	<0,05
143	<0,05	<0,05	<0,001	3,98	3,03	0,20	9,06	1,83	-	0,03	<0,01
145	<0,05	<0,50	<0,01	<0,05	3,90	1,10	11,30	4,10	8,70	<0,05	<0,05
149	<0,05	0,07	0,003	0,41	0,56	0,10	9,06	2,75	-	0,50	<0,01
150	<0,05	<0,50	0,03	9,19	9,60	<0,50	10,80	3,20	16,50	<0,05	<0,05
151	<0,05	0,14	<0,001	0,12	0,52	0,88	12,08	1,37	-	0,18	<0,05
153	0,07	<0,05	0,001	<0,01	0,51	<0,10	9,06	3,67	-	0,13	<0,05
154	<0,05	<0,05	0,003	0,05	0,76	4,00	9,06	2,29	-	0,13	<0,05
155	-	-	-	16,29	19,50	2,50	20,00	7,80	-	<0,10	0,55
156	0,07	1,10	0,02	10,60	6,80	<0,50	3,00	5,60	26,00	0,56	0,27
160	<0,05	<0,05	<0,01	6,89	7,27	<1,00	5,28	0,92	10,40	<0,05	<0,05
162	-	-	-	<0,05	0,50	3,20	13,60	7,80	-	0,94	0,14

169	-	-	-	0,62	4,40	<1,00	13,30	4,70	-	0,12	<0,10
170	-	-	-	<0,05	7,90	1,60	11,80	4,70	-	0,26	<0,10
171	-	-	-	<0,05	<0,10	7,80	15,70	8,10	-	<0,10	<0,10
180	0,06	<0,05	0,002	<0,01	0,51	0,20	7,55	1,83	-	0,25	0,10
188	-	-	-	0,55	3,40	3,20	18,40	9,70	-	0,27	,0,10
199	<0,05	<0,05	<0,01	10,71	5,33	8,00	10,10	1,72	14,90	<0,05	<0,05
201	<0,05	<0,05	<0,01	6,02	3,63	4,00	8,72	3,11	11,70	<0,05	<0,05
202	<0,05	<0,05	<0,01	0,14	6,59	<1,00	7,66	5,33	4,61	<0,05	<0,02
203	<0,05	<0,05	<0,01	<0,05	3,63	<1,00	6,66	0,93	6,80	<0,05	<0,05
204	20,10	0,55	<0,01	0,15	47,50	4,00	24,00	2,77	32,50	15,80	0,33
205	<0,05	<0,05	<0,01	7,21	11,20	<1,00	3,21	5,04	9,32	<0,05	0,14
206	1,10	0,05	<0,01	1,43	29,50	4,00	12,30	2,13	21,10	3,87	<0,05
207	<0,05	<0,05	<0,01	0,40	6,54	<1,00	12,50	5,08	11,80	<0,05	<0,05
208	<0,05	<0,05	<0,01	<0,05	2,18	<1,00	5,50	2,61	6,25	<0,05	<0,05
209	<0,05	<0,05	<0,01	0,08	2,18	<1,00	16,10	2,68	12,80	<0,05	<0,05
221	-	-	-	0,23	1,57	2,02	-	-	7,20	<0,05	0,14
222	-	-	-	0,25	2,38	<1,00	-	-	8,46	<0,05	<0,05
223	-	-	-	1,60	4,35	2,64	-	-	13,30	<0,05	0,04
224	-	-	-	1,44	2,00	<1,00	-	-	10,90	1,21	0,40
227	-	-	-	50,58	49,60	6,50	-	-	-	<0,10	<0,05
228	-	-	-	27,50	36,80	10,00	-	-	-	<0,10	<0,05
229	-	-	-	39,61	36,80	7,30	-	-	-	0,68	<0,05
230	-	-	-	0,10	0,91	-	-	-	-	0,54	0,18
233	-	-	-	0,47	4,90-	-	-	-	-	0,04	<0,01
234	-	-	-	1,34	3,80	-	-	-	-	0,02	<0,01
235	-	-	-	<0,34	1,62	-	-	-	-	0,01	<0,01
236	-	-	-	11,70	19,90	-	-	-	-	0,04	<0,01
237	-	-	-	<0,20	3,20	-	-	-	-	0,04	<0,01
241	-	-	-	7,90	9,90	<1,00	-	-	-	0,08	<0,01
243	-	-	-	1,45	2,49	0,10	-	-	-	0,01	0,01
244	<0,05	-	<0,001	4,91	6,10	2,10	6,40	0,50	-	0,50	0,05
245	-	-	-	0,01	10,00	-	-	-	-	1,24	0,01
257	0,07	-	0,008	0,15	0,45	<1,00	11,00	5,70	-	0,56	0,10
258	-	-	-	1,43	4,40	1,20	-	-	-	0,10	<0,05

ANEXO 3.1 - ANÁLISES DE METAIS NOS POÇOS DO COMPLEXO BELO HORIZONTE

Nº DO POÇO	Ag tot mg/l	Al tot mg/l	B tot mg/l	Ba tot mg/l	Be tot mg/l	Bi tot mg/l	Cd tot mg/l	Co tot mg/l	Cr tot mg/l	Cu tot mg/l	K tot mg/l	La tot mg/l	Li tot mg/l	Mo t mg/
92	0,02	<0,05	<0,02	0,019	<0,001	<0,05	<0,001	<0,01	<0,05	0,01	<0,50	<0,05	<0,02	0,01
105	<0,01	<0,05	,0,02	0,013	<0,001	<0,05	0,001	<0,01	<0,05	0,01	0,91	<0,05	<0,02	<0,0
106	<0,01	<0,05	<0,02	0,206	<0,001	<0,05	<0,001	<0,01	<0,05	<0,01	1,67	<0,05	<0,02	<0,0
113	<0,01	<0,05	<0,02	0,035	<0,001	<0,05	<0,001	<0,01	<0,02	<0,01	2,43	<0,05	<0,02	<0,0
128	0,04	<0,05	<0,02	0,155	<0,001	<0,05	<0,001	<0,01	<0,02	0,01	2,07	<0,05	<0,02	<0,0
130	<0,01	<0,05	<0,02	0,054	<0,001	<0,05	<0,001	<0,01	<0,05	<0,01	2,46	<0,05	0,02	0,01
133	<0,01	<0,05	<0,02	0,039	<0,001	<0,05	<0,001	<0,01	<0,05	<0,01	2,66	<0,05	0,02	0,01
150	<0,01	<0,05	0,29	0,169	<0,001	<0,05	<0,001	<0,01	<0,02	0,04	3,00	<0,05	<0,02	<0,0
160	<0,01	<0,05	<0,02	0,119	<0,001	<0,05	<0,001	<0,01	<0,05	0,01	3,93	<0,05	<0,02	<0,0
199	<0,01	<0,05	<0,02	0,122	<0,001	<0,05	<0,001	<0,01	<0,05	<0,01	3,95	<0,05	<0,02	<0,0
201	<0,01	<0,05	<0,02	0,019	<0,001	<0,05	<0,001	<0,01	<0,05	<0,01	2,14	<0,05	<0,02	<0,0
202	<0,01	<0,05	<0,02	0,008	<0,001	<0,05	<0,001	<0,01	<0,02	<0,02	1,34	<0,05	<0,02	<0,0
203	<0,01	<0,05	<0,02	0,081	<0,001	<0,05	<0,001	0,01	<0,05	0,02	1,71	<0,05	<0,02	<0,0
204	<0,01	0,87	0,02	0,157	<0,001	<0,05	0,003	<0,01	<0,05	0,01	15,80	<0,05	<0,02	0,01
205	<0,01	<0,05	<0,02	0,043	<0,001	<0,05	<0,001	<0,01	<0,05	0,01	<0,50	<0,05	<0,02	<0,0
206	<0,01	<0,05	<0,02	0,129	<0,001	<0,05	<0,001	<0,01	<0,05	<0,01	6,10	<0,05	<0,02	<0,0
207	<0,01	<0,05	<0,02	0,050	<0,001	<0,05	<0,001	<0,01	<0,05	<0,01	1,78	<0,05	<0,02	<0,0
208	<0,01	<0,05	<0,02	0,105	<0,001	<0,05	<0,001	<0,01	<0,05	<0,01	1,86	<0,05	<0,02	<0,0
209	<0,01	<0,05	<0,02	0,286	<0,001	<0,05	<0,001	<0,01	<0,05	0,13	3,12	<0,05	<0,02	<0,0

ANEXO 3.1 - ANÁLISES DE METAIS NOS POÇOS DO COMPLEXO BELO HORIZONTE - Continuação

Nº DO POÇO	Ni tot mg/l	P tot mg/l	Pb tot mg/l	Sc tot mg/l	Si tot mg/l	Sn tot mg/l	Sr tot mg/l	Ti tot mg/l	V tot mg/l	Y tot mg/l	W tot mg/l	Zn tot mg/l	Zr tot mg/l
92	<0,02	0,02	<0,02	<0,01	18,10	<0,50	0,039	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,03	<0,01
105	<0,02	0,05	<0,02	<0,01	16,90	<0,50	0,066	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	2,37	<0,01
106	<0,02	0,02	<0,02	<0,01	9,11	<0,50	0,060	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,22	<0,01
113	<0,02	0,05	<0,02	<0,01	21,70	<0,50	0,186	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01
128	<0,02	0,06	<0,02	<0,01	23,30	<0,50	0,139	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,03	<0,01
130	<0,02	0,04	<0,02	<0,01	20,80	<0,50	0,126	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,72	<0,01
133	<0,02	0,03	<0,02	<0,01	14,90	<0,50	0,159	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,01	<0,01
150	<0,02	0,19	0,03	<0,01	8,33	<0,50	0,164	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,12	0,01
160	<0,02	0,03	<0,02	<0,01	14,10	<0,50	0,087	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,06	<0,01
199	<0,02	0,03	<0,02	<0,01	18,60	<0,50	0,115	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,04	<0,01
201	<0,02	0,05	<0,02	<0,01	24,20	<0,50	0,093	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,12	<0,01
202	<0,02	0,01	<0,02	<0,01	13,60	<0,50	0,032	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,23	<0,01
203	<0,02	0,04	<0,02	<0,01	21,70	<0,50	0,108	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,01	<0,01
204	<0,02	0,55	<0,02	<0,01	3,82	<0,50	0,109	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,12	<0,01
205	<0,02	0,02	<0,02	<0,01	3,95	<0,50	0,019	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,06	<0,01
206	<0,02	0,03	<0,02	<0,01	4,92	<0,50	0,109	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,03	<0,01
207	<0,02	0,04	<0,02	<0,01	22,90	<0,50	0,081	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,02	<0,01
208	<0,02	0,07	<0,02	<0,01	24,80	<0,50	0,075	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,08	<0,01
209	<0,02	0,05	<0,02	<0,01	28,70	<0,50	0,262	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,15	<0,01

ANEXO 3.2 - ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS POÇOS DO GRUPO SABARÃ

Nº DO POÇO	pH in natura	COR mg/lKPtCl	TURBIDEZ NTU	COND.EL. µS/cm	SOL.DIS. mg/l	SOL.SUSP. mg/l	SOL.TOT. mg/l	DUR. Ca mg/l$CaCO_3$	DUR. Mg mg/l$CaCO_3$	DUR. TOT. mg/l$CaCO_3$	ALC.BI mg/lCaC
59	7,75	10,00	2,50	96,10	91,10	10,00	101,10	11,22	6,54	17,76	47,74
80	8,00	-	218,00	50,00	-	-	96,56	24,00	32,00	56,00	60,00
81	8,20	2,50	2,50	50,00	-	-	116,20	48,00	20,00	68,00	69,00
89	8,11	2,50	2,80	159,00	150,70	4,80	155,50	39,38	26,94	66,32	80,82
148	7,02	<5,00	2,00	141,00	128,00	13,00	141,00	50,00	62,00	112,00	85,00
158	7,01	<5,00	1,00	240,00	275,00	12,00	287,00	99,90	95,90	195,80	77,00
163	7,71	<5,00	<1,00	52,80	30,00	7,00	37,00	13,90	21,60	35,50	46,00
164	7,90	<1,00	7,50	390,00	-	-	-	5,50	12,90	18,40	142,00
166	6,82	<5,00	0,50	55,00	50,00	-	50,00	36,00	22,10	58,10	61,00
167	7,80	<1,00	2,00	133,30	-	-	-	32,30	22,20	54,50	67,30
168	8,15	<1,00	1,50	161,56	153,20	10,00	163,20	30,19	30,19	60,38	91,32
187	7,90	<1,00	5,50	102,50	-	-	-	18,00	18,00	36,00	52,00
210	8,05	5,00	2,50	155,50	119,57	1,80	121,37	0,17	0,14	0,32	24,00
212	7,53	<5,00	0,50	143,00	126,00	5,00	131,00	48,30	46,20	84,50	72,40
214	8,10	<5,00	0,60	242,00	159,00	15,00	174,00	50,00	28,90	78,90	89,60
232	6,25	33,00	25,00	409,00	298,00	-	-	-	-	133,00	-

ANEXO 3.2 - ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS POÇOS DO GRUPO SABARÃ - Continuação

Nº DO POÇO	N amoniac. mg/l N	N orgânico mg/l N	N nitroso mg/l N	N nítrico mg/l N	CLORETO mg/l	SULFATO mg/l	CÁLCIO mg/l	MAGNES. mg/l	SÓDIO mg/l	FERRO mg/l	MANGA mg/l
59	<0,05	0,73	<0,001	<0,05	0,93	4,20	4,49	1,63	-	0,74	<0,01
80	<0,05	-	<0,001	0,27	2,00	<0,10	-	-	-	4,40	<0,05
81	<0,05	-	<0,001	1,60	1,00	0,50	19,20	5,00	-	0,15	0,15
89	<0,05	0,75	<0,001	0,16	8,00	6,00	15,75	6,74	-	0,06	<0,01
148	0,06	-	<0,05	0,95	0,90	<1,00	20,00	15,10	-	0,41	<0,05
158	<0,05	-	<0,005	26,90	30,90	<1,00	40,00	23,30	-	0,74	0,05
163	<0,10	<0,50	0,005	<0,05	9,90	<1,00	6,70	5,20	-	0,30	0,10
164	-	-	-	2,62	1,40	0,28	-	-	62,30	2,52	0,14

166	-	-	-	0,34	2,90	2,30	14,40	5,40	-	<0,10	<0,10
167	-	-	-	4,90	1,90	1,70	-	-	4,96	0,06	<0,05
168	<0,05	0,06	<0,001	0,23	0,76	0,81	12,08	7,34	-	0,28	<0,05
187	-	-	-	0,06	3,40	<1,00	-	-	9,80	<0,05	0,07
210	<0,05	<0,05	<0,01	0,08	0,20	<0,10	0,04	0,05	-	0,32	<0,10
212	-	-	-	2,90	7,70	<1,00	19,30	11,20	-	0,17	<0,10
214	0,12	<0,50	<0,005	<0,05	4,70	<1,00	20,00	7,00	-	<0,10	<0,10
232	-	-	-	11,00	55,80-	-	-	-	-	1,62	0,32

ANEXO 3.2 - ANÁLISES DE METAIS NOS POÇOS DO GRUPO SABARÃ

Nº DO POÇO	Ag tot mg/l	Al tot mg/l	B tot mg/l	Ba tot mg/l	Be tot mg/l	Bi tot mg/l	Cd tot mg/l	Co tot mg/l	Cr tot mg/l	Cu tot mg/l	K tot mg/l	La tot mg/l	Li tot mg/l	Mo t mg/
148	<0,01	<0,05	<0,02	0,011	<0,001	<0,05	0,001	<0,01	<0,05	<0,01	1,61	<0,05	<0,02	0,01
158	<0,01	<0,05	<0,02	0,014	<0,001	<0,05	0,001	<0,01	<0,05	<0,01	0,61	<0,05	0,02	0,02
164	<0,01	<0,05	<0,02	0,002	<0,001	<0,05	<0,001	<0,01	<0,05	<0,01	<0,50	<0,05	<0,02	<0,0
167	<0,01	<0,05	<0,02	0,019	<0,001	<0,05	<0,001	<0,01	<0,05	<0,01	1,16	<0,05	<0,02	0,01

ANÁLISES DE METAIS NOS POÇOS DO GRUPO SABARA - Continuação

Nº DO POÇO	Ni tot mg/l	P tot mg/l	Pb tot mg/l	Sc tot mg/l	Si tot mg/l	Sn tot mg/l	Sr tot mg/l	Ti tot mg/l	V tot mg/l	Y tot mg/l	W tot mg/l	Zn tot mg/l	Zr to mg/l
148	<0,02	0,05	<0,02	<0,01	15,80	<0,50	0,094	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	1,37	<0,01
158	<0,02	0,03	0,02	<0,01	10,20	<0,50	0,185	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	2,98	<0,01
164	<0,02	0,06	<0,02	<0,01	7,93	<0,50	0,031	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	1,80	<0,01
167	<0,02	0,04	<0,02	<0,01	14,60	<0,50	0,102	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,40	<0,01

ANEXO 3.3 - ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS POÇOS DA FORMAÇÃO GANDARELA

Nº DO POÇO	pH in natura	COR mg/lKPtCl	TURBIDEZ NTU	COND.EL. µS/cm	SOL.DIS. mg/l	SOL.SUSP. mg/l	SOL.TOT. mg/l	DUR. Ca mg/l$CaCO_3$	DUR. Mg mg/l$CaCO_3$	DUR. TOT. mg/l$CaCO_3$	ALC.BI mg/lCaC
82	8,30	<1,00	0,60	247,00	189,90	10,00	199,90	77,50	89,50	167,00	139,00
83	7,10	20,00	3,80	78,50	74,40	18,00	92,40	9,44	3,15	12,59	15,92
88	5,25	7,50	15,10	50,00	-	-	44,00	-	-	30,00	0,50
90	7,00	20,00	2,50	69,30	65,70	10,00	75,70	9,72	3,04	36,45	41,10
174	8,20	<2,50	0,77	73,00	-	-	-	40,00	26,00	66,00	54,00
175	800	300	060	8600	-	-	-	4200	800	5000	4800
176	8,35	<1,00	2,50	84,50	80,10	7,00	87,10	26,41	26,42	52,83	53,00
179	8,00	<1,00	37,00	133,00	-	-	-	26,00	25,00	51,00	61,00
184	7,71	<5,00	0,60	163,00	137,00	4,00	141,00	66,60	11,80	78,40	103,40
185	8,12	30,00	8,10	23,00	21,80	5,20	27,00	0,33	0,05	0,38	28,20

ANEXO 3.3 - ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS POÇOS DA FORMAÇÃO GANDARELA - Continuação

Nº DO POÇO	N amoniac. mg/l N	N orgânico mg/l N	N nitroso mg/l N	N nítrico mg/l N	CLORETO mg/l	SULFATO mg/l	CÁLCIO mg/l	MAGNES. mg/l	SÓDIO mg/l	FERRO mg/l	MANGA mg/l
82	<0,05	<0,05	<0,001	<0,05	0,25	0,50	31,00	22,38	-	0,12	<0,05
83	<0,05	2,44	0,007	2,42	1,29	<0,10	3,78	0,79	-	0,65	0,05
88	0,038	-	0,004	0,01	2,50	0,75	-	-	-	1,20	0,005
90	<0,05	0,57	<0,003	0,05	0,24	<0,10	9,72	3,04	-	0,62	0,03
174	-	-	-	-	2,00	0,33	-	-	-	0,17	0,07
175	-	-	-	-	10,00	<0,50	-	-	-	<0,05	<0,05
176	<0,05	<0,05	<0,001	0,10	<0,025	0,30	10,56	6,42	-	0,27	<0,05
179	<0,05	0,10	0,001	1,10	8,00	1,70	-	-	11,60	1,15	0,06
184	-	-	-	0,20	5,40	1,00	26,70	2,90	-	<0,10	<0,10
185	0,07	0,06	0,005	0,40	0,60	<0,10	0,08	0,02	-	1,97	<0,10

ANEXO 3.4 - ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS POÇOS DA FORMAÇÃO CERCADINHO

Nº DO POÇO	pH in natura	COR mg/l KPtCl	TURBIDEZ NTU	COND.EL. µS/cm	SOL.DIS. mg/l	SOL.SUSP. mg/l	SOL.TOT. mg/l	DUR. Ca mg/l $CaCO_3$	DUR. Mg mg/l $CaCO_3$	DUR. TOT. mg/l $CaCO_3$	ALC.BI mg/l CaC
60	7,55	2,50	1,40	99,30	94,10	10,00	104,10	48,00	10,00	58,00	55,00
87	7,14	5,00	1,00	55,10	52,20	10,00	62,20	20,00	10,00	30,00	32,10
182	6,32	<5,00	0,30	73,00	45,00	-	-	34,00	16,10	50,10	57,10
183	7,72	5,00	6,00	87,00	65,00	-	-	46,10	34,10	80,20	80,60
225	7,92	-	0,75	131,70	124,90	6,00	130,90	33,64	22,44	56,08	74,37
226	7,15	5,00	0,80	129,00	129,00	-	-	-	-	58,80	-

ANEXO 3.4 - ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS POÇOS DA FORMAÇÃO CERCADINHO - Continuação

Nº DO POÇO	N amoniac. mg/l N	N orgânico mg/l N	N nitroso mg/l N	N nítrico mg/l N	CLORETO mg/l	SULFATO mg/l	CÁLCIO mg/l	MAGNES. mg/l	SÓDIO mg/l	FERRO mg/l	MANGA mg/l
60	<0,05	<0,05	0,001	<0,05	0,45	<0,010	19,20	2,50	-	0,21	<0,01
87	<0,05	0,60	<0,001	<0,05	0,53	1,00	8,00	2,50	-	0,15	<0,03
182	-	-	-	1,26	5,70	15,00	13,60	3,90	-	0,30	<0,10
183	-	-	-	0,12	5,70	<1,00	18,40	8,20	-	1,78	0,80
225	<0,05	1,30	<0,001	<0,05	0,37	2,00	13,46	5,61	-	0,41	<0,01
226	-	-	-	<0,20	3,80	2,70	-	-	-	0,42	0,04

ANEXO 4.1 - POSTOS DE COMBUSTÍVEIS DE BELO HORIZONTE

Nº	RAZÃO SOCIAL	NOME DO POSTO	ENDEREÇO	COORDENADAS - UTM		DATAS POS-TAN	INVEST. AMBIENT	CAR.POT.CONT			
				LONGIT.	LATIT.			E	M	R	D
01	Adriano C. Diniz		Av. Cristiano Machado, 7100	611.961	7.803.216						X
02	Aerton Antônio de Oliveira Costa	Pássaro Preto	Av. Gen. Olimpio Morão Filho 1374	609.353	7.806.508						X
03	A.C.Comércio de Combustíveis Ltda.		Av. Pres. Antônio Carlos, 852	610.473	7.798.805	15.05.00	Estanq. + IAP		X		
04	ALE Combustíveis S.A.		Av. do Contorno, 8249	609.648	7.795.504						X
05	Almada & Cia. Ltda.	Almada 2	Rua Itaúna, 557	611.710	7.798.798	1973	-		X		
06	Almada & Cia. Ltda.	Almada 3	Rua Mons. Messias 20	612.720	7.804.100						X
07	Almada & Cia. Ltda.	Almada 1	Rua Jacuí, 3880	611.935	7.801.498	01.07.72	-		X		
08	Almada & Cia. Ltda.	Almada 4	Rua Jacuí 4000	612.078	7.801.648						X
09	Andrade Vendas e Serviços Ltda.	Andrade	Av. do Contorno, 3772	613.010	7.796.208	12.08.65	-		X		
10	Arnaldo Geraldo Magela Costa	Pio XII	Av. do Contorno, 9008	612.132	7.801.024						X
11	Antônio A. M. Carabetti	Passarela	Av. Cristiano Machado, 2525	612.132	7.801.024	02.12.94	-				X
12	Auto Abastecedora Ltda.	Sherife	Av. Amazonas, 2381	609.436	7.796.144						X
13	Automille Automóveis Ltda.		R. Bernardo Guimarães, 1833	610.815	7.796.072						X
14	Auto Posto BH 100 Ltda.	BH100	Av. Portugal, 5060	609.436	7.805.412						X
15	Auto Posto Boa Vista Ltda.	Boa Vista	Av. Elísio de Brito, 195	614.494	7.799.686						X
16	Auto Posto Capixaba Ltda.	Capixaba	Rod. Anel Rodoviário – km 5316	-	-						X
17	Auto Posto Farol Ltda.	Farol	Av. Bernarda Silvestre, 115	606.530	7.808.565	01.10.86	Estanq.			X	
18	Auto Posto Inhumas Ltda.	Inhumas	Rua das Clarinetas, 15	604.090	7.796.590	01.10.90	Estanq. + IAP			X	
19	Auto Posto Líder Ltda.	Líder	Rua Sapucaí, 469	611.762	7.797.303	1964	-		X		
20	Auto Posto Maquiné Ltda.	Maquiné	Rua Cássia, 89	608.960	7.796.490						X
21	Auto Posto Pantera Ltda.	Pantera	Rua Tamoios, 1164	610.226	7.797.277						X
22	Auto Posto Santa Amélia Ltda.	Guarapari	Av. Guarapari, 1201	607.398	7.806.385	26.12.94	Estanq. + IAP			X	
23	Auto Posto Santa Amélia Ltda.	Santa Amélia	Av. Dr. Álvaro Camargos, 2344	608.307	7.807.341	2001	Estanq.				X
24	Auto Posto Túnel Ltda.	Túnel	Av. Cristiano Machado, 65	611.307	7.798.703	1970	-		X		
25	Auto Posto Verona Ltda.	Verona	Rod. BR-262 – km 5,5	-	-	01.11.95	-				X
26	Auto Serviço Ltda.	Indaiá	Av. Augusto de Lima, 876	610.565	7.796.754						X
27	Auto Stop Ltda.	Auto Stop	Rua Desembargador Tinoco, 585	606.778	7.798.145						X
28	Bandarra Posto e Serviço Ltda.	Bandarra	Av. N.Sra. de Fátima, 2788	609.205	7.797.402	1990	-			X	
29	Barrabela Auto PostoLtda.	Barrabe;a	Rod. BR-040 – km 7,5	-	-						X
30	Barreiro Auto Serviço Ltda.	Barreiro	Av. Afonso Vaz de Melo, 435	602.647	7.791.157						X

ANEXO 4.1 - POSTOS DE COMBUSTÍVEIS DE BELO HORIZONTE - Continuação

Nº	RAZÃO SOCIAL	NOME DO POSTO	ENDEREÇO	COORDENADAS – UTM		DATAS POS-TAN	INVEST. AMBIENT	CAR.POT.CONT			
				LONGIT.	LATIT.			E	M	R	D
31	Base Incorporações e Construções Ltda.	Colonial	Av. Dom Pedro II, 1678	609.208	7.798.282						X
32	Bel Posto Ltda.	Bel Posto	Rua das Princesas, 367	603.947	7.795.085	23.10.69	-		X		
33	Belice Comércio Ltda.	Belice	Av. Santa Terezinha, 400	604.767	7.802.710						X
34	BelPart Participações e Comércio Ltda.	Pra Frente	Rua Dom João Antônio dos Santos, 195	606.098	7.796.892						X
35	Bola Pesada Empreend. Comerciais Ltda.	Bola Pesada	Praça Leonardo Gutierrez, 215	608.941	7.795.277						X
36	BRM Combustíveis Ltda.		Av. Abílio Machado, 330	605.192	7.798.037						X
37	Califórnia Empreendimentos Ltda.	Califórnia	Av. Abílio Machado, 1345	604.584	7.798.765	01.10.73	-		X		
38	Carlos Antônio Maia Ltda.	Rio Negro	Av. Bias Fortes, 914	610.665	7.796.434	01.01.97	-				X
39	Carneiro e Amorim Ltda.	Teresa Cristina	Av. Teresa Cristina, 820	608.357	7.797.425	1971	-		X		
40	Casa Artur Haas Com. e Indústria Ltda.	ABC	Rua da Bahia/Rua Carijós	611.400	7.797.060						X
41	Casa Artur Haas Com. e Indústria Ltda.	Boa Viagem	Rua Alagoas, 181	611.583	7.796.092						X
42	Catalão Comercial Ltda.	Santa Luzia	Rua Úrsula Paulino, 2400	605.470	7.791.706						X
43	Catia V. Colla Ltda.		Av. Silva Lobo, 667	607.658	7.796.020						X
44	CBPR Empreendimentos Ltda.		Av. Barão Homem de Melo, 4578	609.403	7.791.678						X
45	Centro Automotivo BH Sul Ltda.		Av. N.Sra. do Carmo,1692	611.050	7.793.380						X
46	Centro Automotivo Del Rey Ltda.		Rua Barão de Monte Alto, 851	609.288	7.800.370	15.11.98	Estanq.				X
47	Centro Automotivo Falcão Ltda.	Falcão	Av. Gal. Olimpio Mourão Filho, 1374	609.353	7.806.508	20.05.85	-			X	
48	Chapadão Posto de Serviços Ltda.	Chapadão	Av. Silviano Brandão, 2820	613.996	7.798.412	09.08.91	-			X	
49	Codep Com. Derivados de Petróleo Ltda.	Anel	Rod. BR-262 – km 9 – Anel Rodoviário	-	-						X
50	Codepel Com. de Derivados de Petróleo Lt.	Beija-Flor	Rod. BR-262 – km 10	-	-	25.10.93	-				X
51	Coderp Com. Derivados de Petróleo Ltda.	Flamingo	Av. Pres. Antônio Carlos, 4250	609.397	7.802.532						X
52	Coderp Com. Derivados de Petróelo Ltda.	Nova América	Rua Padre Pedro Pinto, 3300	606.903	7.809.966						X
53	Coderp Com. Derivados de Petróleo Ltda.	Cardeal	Av. Dom Pedro I, 1680	608.633	7.806.767	31.12.73	Estanq. + IAP		X		
54	Coderp Com. Derivados de Petróleo Ltda.		Av. Desemb. Milton dos Reis, 159	608.747	7.806.621						X
55	Coderp Com. Derivados de Petróelo Ltda.		Av. Bernardo de Vasconcelos, 2001	611.550	7.801.568						X
56	Comercial de Derivados de Petróleo Ltda.	São Paulo	Av. Augusto de Lima, 559	610.860	7.796.623						X
57	Comercial Dias Vieira Ltda.		Rua Pintor Renato Lima, 10	613.809	7.805.607	02.01.91	-			X	
58	Comercial Dona Clara Ltda.	Dona Clara	Av. Cristiano Machado, 8665	612.197	7.802.691						X
59	Comercial JRF Ltda.		Av. Cristiano Machado, 1547	612.251	7.799.922						X
60	Comercial Regon Ltda.		Av. Prof. José Vieira de Mendonça, 1435	607.095	7.801.521						X

ANEXO 4.1 - POSTOS DE COMBUSTÍVEIS DE BELO HORIZONTE - Continuação

Nº	RAZÃO SOCIAL	NOME DO POSTO	ENDEREÇO	COORDENADAS - UTM		DATAS POS-TAN	INVEST. AMBIENT	CAR.POT.CONT			
				LONGIT.	LATIT.			E	M	R	D
61	Comércio de Combustíveis Alex Ltda.	Alex	Rua Gonçalves Dias, 520	612.055	7.795.640	04.03.65	Estanq. + IAP		X		
62	Comércio de Combustíveis Milênio Ltda.	Daniel	Rua Padre Pedro Pinto, 2745	607.570	7.809.780	2001	Estanq.				X
63	Com. de Derivados de Petróleo Major Ltda.		Av. Sinfrônio Brochado, 506	602.842	7.790.894						X
64	Comércio e Transportes Lux Ltda.	Antônio Carlos	Av. Pres. Antônio Carlos, 852	610.473	7.798.806						X
65	Comércio e Transportes Lux Ltda.	São Lucas	Praça Hugo Werneck, 450	612.366	7.796.522						X
66	Comercial Piraquara Ltda.	Confiança	Rua Tamoios, 1171	610.203	7.797.252						X
67	Coop.M Trab.Mot.Aut.Taxi - Coopertramo		Rua 1º de Julho, 10	608.963	7.799.937	1984	-			X	
68	D'Artron Ltda.	Centro Norte	Av. Cristano Machado, 7100	611.961	7.803.216						X
69	Diala Petróleo Ltda.	Boca Branca	Rua Pouso Alegre, 1075	612.075	7.797.940						X
70	Dispel Distribuidora de Petróleo Ltda		Rua Hermílio Alves, 436	612.806	7.797.546						X
71	DMA Distribuidora Ltda.		Rua Caraça, 600	613.370	7.794.523						X
72	DMA Distribuidora Ltda.		Rua Joaquim Nabuco, 208	606.990	7.795.699						X
73	Duarte e Bretas Ltda.	304	Rua Pará de Minas, 788	605.861	7.797.758						X
74	Dutra e Silva Ltda.	Engenheiros	Rua dos Engenheiros, 555	604.710	7.800.255						X
75	E. A. França Comercial Ltda.		Av. Raja Gabáglia, 4153	609.455	7.791.750						X
76	Elisa Pedrosa de Araújo	Pedrosa	Av. Pres. Antônio Carlos, 1240	610.402	7.799.177	16.11.98	Estanq. + IAP		X		
77	Empreendimentos Laguna Ltda.		Av. Cristovão Colombo, 449			03.09.99	Estanq. + IA	X			
78	Empreendimentos VIP Ltda.	VIP	Av. Prudente de Morais, 303	610.213	7.795.023						X
79	Empresa Brasileira de Promoções Ltda.	Paraíso	Anel Rodoviário – km 4	-	-						X
80	Excede Ltda.	Excede	Av. do Contorno, 8485	609.471	7.795.604						X
81	Fayal S.A.	Paladium	Rua Goitacazes, 293	611.006	7.796.747						X
82	FIP Auto Posto Ltda.	FIP	Rodov. BR-040 – km 530	-	-	28.05.73	Estanq.		X		
83	Fon Fon Olegário Maciel Ltda.	Fon Fon	Av. Olegário Maciel, 546	610.521	7.797.160						X
84	Gersílio José Gomes		Av. Amazonas, 4808	607.075	7.796.063	20.02.98	-				X
85	GFC Distribuidora Ltda.	Canal	Av. Heráclito Mourão de Miranda, 1650	604.155	7.801.530	29.02.00	-				X
86	Gilbo Com.de Derivados de Petróleo Ltda.	Ipiranga	Av. Pres. Carlos Luz, 451	608.408	7.798.720	23.05.73	-		X		
87	Guara Combustíveis e Lubrificantes Ltda.	Guara	Av. D. Pedro II, 4414	606.593	7.798.111						X
88	H. L. Neiva & Cia. Ltda.	Silva Lobo	Av. Silva Lobo, 700	607.631	7.796.048	01.08.91	Estanq.			X	
89	Ieda G. S. Neiva Ltda.		Av. Prudente de Morais, 1133	610.016	7.794.242						X
90	INIPAR Com. e Serv. de Deriv. de Petróleo	União	Rua Padre Pedro Pinto, 20	609.721	7.808.021	10.09.97	Estanq.				X

ANEXO 4.1 - POSTOS DE COMBUSTÍVEIS DE BELO HORIZONTE - Continuação

Nº	RAZÃO SOCIAL	NOME DO POSTO	ENDEREÇO	COORDENADAS - UTM		DATAS POS-TAN	INVEST. AMBIENT	CAR.POT.CONT			
				LONGIT.	LATIT.			E	M	R	D
91	J.Fabris & Cia. Ltda.		Rua Afonso Vaz de Melo, 435	602.647	7.791.157	1971	-		X		
92	J. R. Comércio e Prestação de Serviços Lt.	J. R.	Rua Izabel Bueno, 964	609.930	7.803.566	10.05.83	-			X	
93	João Jacome & Cia. Ltda.	Carijó	Anel Rodoviário – km 4	-	-						X
94	João Pacífico A. Sposito		Rua Henrique Passini, 22	613.106	7.794.672						X
95	Joaquim V. Faria Sobrinho		Av. Tereza Cristina, 1600	607.885	7.797.090						X
96	Jocs Ltda. Derivados de Petróelo	Shell Horto	Av. Silviano Brandão, 2419	613.582	7.798.267						X
97	Júlio M. Silveira		Av. Cristiano Machado, 2000	612.196	7.800.379	10.11.88	-			X	
98	Kepler Comércio e Serviços Ltda.	Kepler	Rua Kepler, 241	609.881	7.792.462	2000	-				X
99	King Empreendimentos Comerciais Ltda.	King	Av. Vereador Cícero Ildefonso, 1065	604.470	7.796.410						X
100	Lacerda e Lemos Ltda.	Presidente	Av. Pres. Antônio Carlos, 4050	609.565	7.802.247						X
101	Lavauto Lavagem de Automóveis Ltda.	Lavauto	Rua Araguari, 1140	609.835	7.796.183						X
102	Legal Com. Comb. e Lubrificantes Ltda.	Legal	Av. André Cavalcanti, 211	609.230	7.795.653						X
103	Lubrificantes Cunha Ltda.	Cunha	Av. Dom Pedro II, 2363	608.539	7.798.320	1972-1989				X	
104	Lubrificantes Vila Nova Ltda.	Vila Nova	Av. N.Sra. de Fátima, 2401	609.605	7.797.666	04.07.90	-			X	
105	Lubrificantes Vila Nova Ltda.		Rua Uberaba, 200	609.362	7.797.108						X
106	Lúcio C. Cyrillo		Av. Cristiano Machado, 9350	611.770	7.805.350						X
107	M. C. Derivados de Petróleo Ltda.		Av. Dom Pedro II, 909	609.690	7.797.650	16.08.65	Estanq.		X		
108	Marlim Azul Com.de Petróleo e Deriv. Ltda	Marlim Azul	Praça Bagatelly, 203	609.323	7.804.534	24.08.94	Estanq.				X
109	M. G. Petróleo e Serviços Ltda.		Av. Silviano Brandão, 1344	612.552	7.797.978						X
110	M. M. Com.de Derivados de Petróleo Ltda.		Rua Grão Mogol, 953	611.576	7.793.869	17.08.98	Estanq.				X
111	M. V. Oliveira	Brasil	Av. Afonso Pena, 1967	611.816	7.796.040						X
112	Mendonça & Cia. Ltda.	Aporé	Av. Américo Vespúcio, 809	609.186	7.801.226	01.03.88	-			X	
113	Mendonça & Cia. Ltda.	Fazenda Velha	Av. Cristiano Machado, 2570	612.162	7.800.914	01.07.82	-			X	
114	Mendonça & Cia. Ltda.	Cachoeirinha	Av. Bernardo de Vasconcelos, 1042	610.777	7.800.954	15.07.80	-		X		
115	Mendonça & Cia. Ltda.	Jatobá	Av. Senador Levindo Coelho, 1800	600.971	7.787.880						X
116	Mendonça & Cia. Ltda.		Av. José Cândido da Silveira, 3252	614.550	7.801.940						X
117	Mendonça & Cia. Ltda.		Av. Vilarinho, 900	608.843	7.809.046	1992					X
118	Mendonça & Cia. Ltda.		Av. Portugal, 4611	608.996	7.805.556						X
119	Mercantil Bandeirantes Ltda.	Paraníba	Av. Tereza Cristina, 2650	606.870	7.796.700	01.02.00	Estanq.				X
120	Mineirão Posto de Serviços Ltda.	Mineirão	Av. Pres. Antônio Carlos, 2710	609.957	7.800.555	06.11.72	Estanq.		X		

ANEXO 4.1 - POSTOS DE COMBUSTÍVEIS DE BELO HORIZONTE - Continuação

Nº	RAZÃO SOCIAL	NOME DO POSTO	ENDEREÇO	COORDENADAS - UTM		DATAS POS-TAN	INVEST. AMBIENT	CAR.POT.CONT			
				LONGIT.	LATIT.			E	M	R	D
121	Moura Derivados de Petróleo Ltda.	Erê	Rua Erê, 125	609.036	7.796.818						X
122	Norcol - Novos Rumos Com. Ltda.	Del Rey	Av. Pres. Carlos Luz, 2600	608.205	7.800.205	01.06.98	Estanq. + IA	X			
123	Novais Vendas e Serviços Ltda.	HB	Av. do Contorno, 3772	613.010	7.796.208						X
124	Organizações Nassar Ltda.	Nassar	Av. Santa Terezinha, 426	603.905	7.802.082						X
125	Organização Petromar Ltda.	Tupis	Rua Mato Grosso, 212	610.214	7.797.085	1976	-		X		
126	Organizações Gualberto Ltda.	Céu Azul	Rua Maria Gertrudes Santos, 293	604.688	7.808.403	01.04.86	-			X	
127	Pelicano Empreend. Comércio Ltda.		Av. Petrolina, 640	612.754	7.799.038		-				X
128	Petrobel Ltda.	Xuá 2	Av. Bernardo Montneiro, 1339	612.124	7.795.900	1976	-		X		
129	Petro Ouro Ltda.		Av. Júlio Mesquita, 33	598.925	7.788.690						X
130	Petromix Com. e Transporte Ltda.	Palmira	Rua Palmira, 987	613.496	7.794.775	?	-				X
131	Planalto Posto de Serviço Ltda.	Santo Inácio	Av. Dr. Cristiano Guimarães, 2329	609.880	7.805.952	20.11.85	-			X	
132	Polipetro Distrib. de Combustível Ltda.	Polipetro II	Av. Cristiano Machado, 10260	611.063	7.806.394	03.03.99	Estanq.				X
133	Posto Aeroporto Ltda.	Aeroporto	Av. Prof. Magalhães Penido, 540	609.972	7.804.107	01.09.73	-		X		
134	Posto Albatroz Ltda.	Albatroz	Av. Afonso Pena, 2122	611.831	7.795.890						X
135	Posto Agro-Jockey Ltda	Agro-Jockey	Rodovia MG-010 - km 16	610.160	7.811.600						X
136	Posto Águia Dourada Ltda.	Águia Dourada	Rua Júlio Mesquita, 520	599.712	7.788.793						X
137	Posto Alaska Ltda.	Alaska	Av. Bandeirantes, 20	611.650	7.792.890	2000	Estanq.				X
138	Posto Alfa Ltda.	Alfa	Av. Olinto Meireles, 1478	603.610	7.790.000						X
139	Posto Alpes Ltda.	Alpes	Rua Padre Eustáquio, 909	608.702	7.798.003	23.07.79	-		X		X
140	Posto Amazonas Ltda.	Amazonas	Av. Amazonas, 5298	606.852	7.796.006	1961	-		X		
141	Posto Anchieta Ltda.	Anchieta	Av. Pres. Carlos Luz, 710	608.308	7.798.976	06.08.54	Estanq.	X			
142	Posto Angico Ltda.	Angico	Rua Maria Ferreira da Silva, 401	613.540	7.801.930	31.05.99	Estanq.				X
143	Posto Antônio Masssud Ltda.		Rua Araguari, 1140	609.835	7.796.183	1974	-		X		
144	Posto Antunes Ltda.	Antunes	Av. Portugal, 3213	606.901	7.805.194						X
145	Posto Apolo Ltda.	Apolo	Rua Jacuí, 2275	611.377	7.799.993						X
146	Posto Araponga Ltda.	Arnaldo	Praça João Pessoa, 233	612.188	7.796.131						X
147	Posto Araucária Ltda.	Araucária	Av. Santa Terezinha, 426	612.552	7.797.978						X
148	Posto Arnaldo Ltda.		Av. Brasil, 919	612.238	7.796.178						X
149	Posto Astral Ltda.	Astral	Av. Brig. Eduardo Gomes, 1025	604.291	7.798.606	27.05.96					X
150	Posto Atlântico Ltda.	Atlântico	Av. Portugal, 150	605.657	7.806.043	14.02.85				X	

ANEXO 4.1 - POSTOS DE COMBUSTÍVEIS DE BELO HORIZONTE - Continuação

Nº	RAZÃO SOCIAL	NOME DO POSTO	ENDEREÇO	COORDENADAS – UTM		DATAS POS-TAN	INVEST. AMBIENT	CAR.POT.CONT			
				LONGIT.	LATIT.			E	M	R	D
151	Posto Atlântida Ltda.	Atlântida	Av. dos Engenheiros, 1620	604.090	7.800.890	26.01.95					X
152	Posto Autotex Ltda.	Autotex	Av. Álvares Cabral, 770	610.828	7.796.211						X
153	Posto Avenida Ltda.	Avenida	Av. Amazonas, 9248	603.743	7.794.025	01.04.54	-		X		
154	Posto Bacana Ltda.	Bacana	Rua Cel. Pedro Paulo Penido, 505	612.469	7.800.654	22.09.90	-			X	
155	Posto Bahamas Ltda.	Bahamas	Av. Silviano Brandão, 796	612.153	7.798.361	02.04.70	-		X		
156	Posto Bahia Ltda.	Bahia	Av. Pres. Antônio Carlos, 3494	609.874	7.801.338						X
157	Posto Balena Ltda.	Balena	Rua Rio Grande do Norte, 19	612.118	7.796.450						X
158	Posto Baluarte Ltda.	Baluarte	Rodov. BR-262 – km 245	-	-	29.12.98	Estanq.				X
159	Posto Barão Homem de Melo Ltda.	Barão de Melo	Av. Barão Homem de Melo, 827	607.682	7.794.756						X
160	Posto Barbosa	Barbosa	Av. Pres. Carlos Luz, 2263	608.312	7.800.280						X
161	Posto Barreiro Ltda.	Barreiro	Av. Afonso Vaz de Melo, 435	602.647	7.791.157						X
162	Posto Barro Preto Ltda.	Barro Preto	Rua dos Goitacazes, 1376	609.967	7.797.064						X
163	Posto Batistão Ltda.	Batistão	Rua Desemb. Reis Alves, 880	604.895	7.792.044						X
164	Posto Bela Vista Ltda.	Bela Vista	Rua Aquidaban 394	607.453	7.797.090						X
165	Posto Belo Horizonte Ltda.	Belo Horizonte	Av. Dom Pedro II, 1408	609.371	7.798.090						X
166	Posto Betânia Ltda.	Betânia	Rua Úrsula Paulino, 1292	605.919	7.792.815						X
167	Posto Bias Fortes Ltda.	Bias Fortes	Av. Bias Fortes, 765	610.698	7.796.288	12.06.74	IA + REM.	X			
168	Posto Bignert Ltda.	Postinho	Rua Mármore, 15	612.859	7.797.582						X
169	Posto BH Ltda.	BH	Av. dos Andradas, 1350	612.234	7.796.898	1976	-		X		
170	Posto BH Norte Ltda.	BH Norte	Av. Sebastião de Brito, 1037	611.181	7.803.584						X
171	Posto BH Sul Ltda.	BH Sul	Av. N.Sra. do Carmo, 1692	611.045	7.793.390						X
172	Posto Bola Cheia Ltda.	Bola Cheia	Rua Dorival Machado, 519	607.488	7.807.360	28.02.87	-			X	
173	Posto Bom-Bom Ltda.	Bom-Bom	Av. do Contorno, 2694	612.800	7.796.840	1974	-		X		
174	Posto BR Ltda.	BR	Av. Dom Pedro II, 930	609.676	7.797.742	11.02.77	-		X		
175	Posto Brasil Ltda.	Brasil	Av. Afonso Pena, 1967	611.816	7.796.040						X
176	Posto Brasinha Ltda.	Brasinha	Rua Pelotas, 130	605.886	7.797.793	01.01.72	Estanq. + IA			X	
177	Posto Brigadeiro Ltda.	Brigadeiro	Av. Brigadeiro Eduardo Gomes, 1892	603.931	7.799.419	06.04.97					X
178	Posto Brunata Ltda.	Brunata	Rua Anapurus, 21	613.070	7.804.032	10.06.93					X
179	Posto Buritis Ltda.	Buritis	Rua José Rodrigues Pereira, 1192	608.511	7.791.624						X
180	Posto Cabana Ltda.	Cabana	Av. Amazonas, 8555	604.271	7.794.451						X

ANEXO 4.1 - POSTOS DE COMBUSTÍVEIS DE BELO HORIZONTE - Continuação

Nº	RAZÃO SOCIAL	NOME DO POSTO	ENDEREÇO	COORDENADAS – UTM		DATAS POS-TAN	INVEST. AMBIENT	CAR.POT.CONT			
				LONGIT.	LATIT.			E	M	R	D
181	Posto Cabral Ltda.	Cabral	Av. do Contorno, 8249	609.648	7.795.503						X
182	Posto Cachoeirinha Ltda.	Cachoeirinha	Av. Bernardo Vasconcelos, 1042	610.777	7.800.954						X
183	Posto Caçula Ltda.	Caçula	Rua Álvares Maciel, 111	612.999	7.796.506						X
184	Posto Calafate Ltda.	Calafate	Rua Desembargador Barcelos, 196	607.572	7.796.387						X
185	Posto Calango Tango Ltda.	Calango Tango	Av. Olinto Meireles, 1487	603.678	7.790.010	12.11.93	-				X
186	Posto Camaragibe Ltda.	Camaragibe	Rua Pará de Minas, 320	606.363	7.797.682						X
187	Posto Camões Ltda.	Camões	Av. Portugal, 4611	608.997	7.805.556						X
188	Posto Capital Ltda.	Capital	Av. Abílio Machado, 1772	604.305	7.799.101	1971	-		X		
189	Posto Caravela Ltda.	Caravela	Av. do Contorno, 2600	612.666	7.796.876	1984	-			X	
190	Posto Carijó Ltda.	Carijó	Rodov. BR-262 – km 04	-	-	06.11.91				X	
191	Posto Carrera Ltda.	Carrera	Rua Timbiras, 2459	610.344	7.796.491						X
192	Posto Cassia Ltda.	Cassia	Av. Francisco Sá, 260	608.245	7.796.548						X
193	Posto Cassino Ltda.	Cassino	Av. Amazonas, 1560	610.134	7.796.610						X
194	Posto Castelo Ltda.	Castelo	Rua Manoel Elias de Aguiar s/n	605.585	7.802.157	16.01.87				X	
195	Posto Cemar Ltda.	Cemar	Av. Olinto Meireles, 22	603.061	7.791.318						X
196	Posto Chaves Ltda.	Pompéia	Av. Portugal, 2061	606.485	7.805.078						X
197	Posto Cidade Nova Ltda.	Cidade Nova	Av. Cristitano Machado, 905	612.254	7.799.544						X
198	Posto Cláudia Ltda.	Cláudia	Av. Olegário Maciel, 2280	610.085	7.795.527						X
199	Posto Cleargel Ltda.	Cleargel	Av. Palmeiras, 921	607.660	7.803.365						X
200	Posto Coelho Ltda.	Coelho	Av. Pres. Antônio Carlos, 3550	609.843	7.801.424	1965-1984				X	
201	Posto Colibri Ltda.	Colibri	Av. Pres. Antônio Carlos, 7585	608.314	7.804.885						X
202	Posto Colorado Ltda.	Colorado	Av. Amazonas, 6450	605.597	7.795.706	1971	-		X		
203	Posto Cometa Ltda.	Cometa	Av. Pres. Antônio Carlos, 7500	608.863	7.804.032	01.07.71	Estanq.		X		
204	Posto Confins Ltda.	Confins	Av. Waldyr Soeiro Emrich 5260	601.077	7.788.930						X
205	Posto Copacabana Ltda.	Copacabana	Rua Rio de Janeiro, 1270	610.930	7.796.471						X
206	Posto Corujão Ltda.	Corujão	Rua do Ouro, 1029	613.074	7.794.818						X
207	Posto Cristiane Ltda.	Cristiane	Rua Arauari, 1140	609.835	7.796.183						X
208	Posto Curiango Ltda.	Curiango	Rodov. BR-262 – km 7	-	-	01.04.74			X		X
209	Posto da Mata Ltda.	Mata	Av. José Cândido da Silveira, 1133	613.277	7.800.584						X
210	Posto Dallas Ltda.	Dallas	Av. Barbacena, 980	609.767	7.796.318	05.02.82	-			X	

ANEXO 4.1 - POSTOS DE COMBUSTÍVEIS DE BELO HORIZONTE - Continuação

Nº	RAZÃO SOCIAL	NOME DO POSTO	ENDEREÇO	COORDENADAS - UTM		DATAS POS-TAN	INVEST. AMBIENT	CAR.POT.CONT			
				LONGIT.	LATIT.			E	M	R	D
211	Posto Danúbio Ltda.	Danúbio	Rua Jacuí, 2300	611.406	7.800.010	04.07.66	Estanq.		X		
212	Posto Decotta Ltda.	Decotta	Rua Goitacazes, 1376	609.967	7.797.064						X
213	Posto Del Rey Ltda.	Del Rey	Rua Padre Pedro Pinto, 933	609.054	7.808.684	1980-1996	-				X
214	Posto Deusmedeu Ltda.	Deusmedeu	Rua Leopoldo Gomes, 900	615.207	7.797.974						X
215	Posto Diplomata Ltda.	Diplomata	Av. Pres. Carlos Luz, 102	608.604	7.798.466						X
216	Posto do Pai Ltda.	Pai	Av. Último de Carvalho, 1275	610.981	7.806.447	14.04.86	-			X	
217	Posto do Papai Ltda.	Papai	Rua Pouso Alegre, 1500	612.543	7.797.915	1969-1994	-				X
218	Posto do Papai Ltda.		Av. Flávio dos Santos, 459	612.579	7.797.867	1973-1994	-				X
219	Posto dos Engenheiros Ltda.	Engenheiros	Rua dos Engenheiros, 555	608.845	7.800.175						X
220	Posto Dom Bosco Ltda.	Dom Bosco	Rua Padre Eustáquio, 2556	607.138	7.797.638	19.02.54	-		X		
221	Posto Drive Auto Serviços Ltda.	Drive Auto Serviço	Av. do Contorno, 6583	611.074	7.794.833						X
222	Posto Drive Auto Serviços Ltda.		Av. Barão Homem de Melo, 1755	607.916	7.793.893						X
223	Posto Duas Pátrias Ltda.	Duas Pátrias	Rua Álvares Cabral, 517	612.596	7.796.612						X
224	Posto Duas Pistas Ltda.	Duas Pistas	Av. do Contorno, 10040	609.321	7.797.225						X
225	Posto e Pizaaria Paineiras Ltda.	Paineiras	Av. Amazonas, 6789	605.400	7.795.576						X
226	Posto e Restaurante Coelho Ltda.	Coelho	Av. Pres. Antônio Carlos, 3550	609.843	7.801.424						X
227	Posto Elefantinho Soc. Ltda.	Elefantinho	Av. Pres. Antônio Carlos, 1400	610.323	7.799.334						X
228	Posto Elisiário de Deus e Costa Ltda.	Milionários	Av. Olinto Meireles, 2375	603.808	7.789.532						X
229	Posto Entrada Obrigatória Ltda.	Entrada Obrigatória	Av. Portugal, 4444	608.720	7.805.630						X
230	Posto Esteves Ltda.	Esteves	Av. dos Andradas, 1071	611.928	7.796.875	25.12.89	-			X	
231	Posto Estoril Ltda.	Estoril	Av. Prof. Mário Werneck, 1910	608.064	7.790.974						
232	Posto Estrela Ltda.	Estrela	Av. Assis Chateaubriand, 615	611.765	7.797.160						X
233	Posto Expresso Com..e Serv. Ltda.	Expresso	Av. Amazonas, 5234	606.900	7.796.021						X
234	Posto Fenix Ltda.	Fenix	Av. Amazonas, 4808	607.076	7.796.064						X
235	Posto Fernanda Ltda.		Rua Paisagem, 45	610.349	7.790.261						X
236	Posto Filadelfia Ltda.	Filadelfia	Rod. BR-040 – km 692	-	-						X
237	Posto Floramar Ltda.	Floramar	Av. Cristiano Machado/Rua Sem. T. Costa	612.197	7.802.691	20.01.85	Estanq. + IAP		X		
238	Posto Floresta Ltda.	Floresta	Av. Olegário Maciel, 59	610.685	7.797.560						X
239	Posto Fon Fon Anchieta Ltda.	Fon Fon Anchieta	Av. Vitório Marçola, 665	612.588	7.794.014	19.06.72	Estanq.		X		
240	Posto Fon Fon Floresta Ltda.	Fon Fon Floresta	Av. Silviano Brandão, 1344	612.552	7.797.978						X

ANEXO 4.1 - POSTOS DE COMBUSTÍVEIS DE BE242LO HORIZONTE - Continuação

Nº	RAZÃO SOCIAL	NOME DO POSTO	ENDEREÇO	COORDENADAS - UTM		DATAS POS-TAN	INVEST. AMBIENT	CAR.POT.CONT			
				LONGIT.	LATIT.			E	M	R	D
241	Posto Fon Fon Ltda.	Fon Fon	Rua Santa Catarina, 94	610.607	7.796.890						X
242	Posto Franca e Campos Ltda.	Franca e Campos	Av. Amazonas, 4156	607.680	7.795.933	01.09.69	-		X		
243	Posto Gabi Ltda.	Gabi	Av. Vilarinho, 2300	608.760	7.809.000						X
244	Posto Gabriela Ltda.	Gabriela	Av. Santa Terezinha, 426	603.905	7.802.082						X
245	Posto Gall Ltda.	Gall	Rua Belmiro Braga, 1078	607.243	7.798.605	09.04.86	-			X	
246	Posto Gameleira Ltda	Gameleira	Av. Amazonas, 7605	605.004	7.795.088	1974	-		X		
247	Posto Gemini Ltda.	Gemini	Rua Jacuí, 3636	611.687	7.801.227	1968	-		X		
248	Posto Geraes Ltda.	Geraes	Av. Gastão Demetrio Maia, 1860	611.670	7.806.430	13.01.97	Estanq.				X
249	Posto Girassol Ltda.	Girassol	Av. Dom Pedro II, 2654	608.255	7.798.192						X
250	Posto Gloria Ltda.	Gloria	Rua Dep. Cláudio Pinheiro de Lima 957	603.944	7.798.866	13.04.74	-		X		
251	Posto Gordurão Ltda.	Gordurão	Rua Modelo 46	611.322	7.798.620						X
252	Posto Grajaú Ltda.	Grajaú	Av. N.Sra. do Carmo, 756	611.461	7.794.095						X
253	Posto Guajajaras	Guajajaras	Rua Guajajaras, 1677	609.984	7.796.726						X
254	Posto Guarapari Ltda.	Guarapari	Av. Guarapari, 1201	607.398	7.806.385						X
255	Posto Havai Ltda.	Havai	Av. Raul Mourão Guimarães, 679	607.340	7.791.922						X
256	Posto HB Ltda.	HB	Av. do Contorno, 3772	613.010	796.208						X
257	Posto Helcar Ltda.	Helcar	Av. André Cavalcanti, 388	609.030	7.795.712						X
258	Posto Hércules Ltda.	Hércules	Rua Cláudio Pinheiro de Lima, 276	604.327	7.798.297	29.01.70	-		X		
259	Posto Hugo Werneck Ltda.		Av. N. Sra. do Carmo, 1925	610.960	7.793.260	1990		X			
260	Posto Iracuí Ltda.	Iracuí	Rua Padre Eustáquio, 1340	608.296	7.797.911	1985	-			X	
261	Posto Irmãos Maia Ltda.	Jatobá	Praça Silva Guimarães, 290	611.990	7.794.860	14.07.86	-				X
262	Posto Ismael Júnior Ltda.		Av. Saramenha, 1062	612.868	7.805.756	05.02.98	Estanq.			X	
263	Posto Itapoã Ltda.	Itapoã	Av. Amazonas, 2994	608.875	7.795.990	1970	-		X		
264	Posto Itaruma Ltda.	Itaruma	Av. Afonso Vaz de Melo, 1025	602.128	7.790.865	1971	-		X		
265	Posto J. A. Ltda.		Rua Júlio Castilho, 15	606.333	7.793.235						X
266	Posto Jacinto Ltda.	Jacinto	Rua João Samaha, 1250	608.316	7.808.007						X
267	Posto J. B. Ltda.	Vitória	Rua Rio de Janeiro, 1612	610.842	7.796.138	07.03.96	-				X
268	Posto J. E. Ltda.	JE	Rua Silva Alvarenga, 471	615.397	7.799.256						X
269	Posto Jacui Ltda.	Jacui	Rua Jacuí, 2798	611.445	7.800.488	16.06.72	Estanq.		X		
270	Posto Jarbas Ltda.	Jarbas	Rua Simão Tamm, 463	610.196	7.800.536	28.04.75	-		X		

ANEXO 4.1 - POSTOS DE COMBUSTÍVEIS DE BELO HORIZONTE - Continuação

Nº	RAZÃO SOCIAL	NOME DO POSTO	ENDEREÇO	COORDENADAS - UTM		DATAS POS-TAN	INVEST. AMBIENT	CAR.POT.CONT			
				LONGIT.	LATIT.			E	M	R	D
271	Posto Jardim Ltda.	Jardim	Av. Bernardo Vasconcelos, 2001	611.550	7.801.568						X
272	Posto Jardim Florença Ltda.	Jardim Florença	Rua Padre Pedro Pinto, 6420	605.070	7.810.025	03.06.93	-				X
273	Posto Javari Ltda.	Javari	Rua Descalvado, 661	610.776	7.800.574	01.11.73	-		X		
274	Posto Jessica Ltda.	Jessica	Av. Silva Lobo, 667	607.658	7.796.020	22.07.95	Estanq.				X
275	Posto João XXIII Ltda.	João XXIII	Av. João XXIII, 564	604.617	7.799.380	01.10.86	-			X	
276	Posto Joca Ltda.	Joca	Rua Antônio José dos Santos, 609	605.080	7.808.224	1987	-			X	
277	Posto Jóia Ltda.	Jóia	Rua Campos Sales, 664	606.808	7.796.225	1971	-		X		
278	Posto Jurema Ltda.	Jurema	Av. Portugal, 5060	609.436	7.805.350						X
279	Posto Karanga Ltda.	Karanga	Av. Dom Pedro II, 3038	607.890	7.798.026	21.08.71	-		X		
280	Posto Kelly Ltda.	Kelly	Av. do Contorno, 1545	612.102	7.797.801						X
281	Posto Leste Oeste Ltda.	Leste Oeste	Av. Tereza Cristina, 1795	607.836	7.797.021	31.07.86	-			X	
282	Posto Lourdes Ltda.	Lourdes	Rua Bernardo Guimarães, 1493	611.128	7.795.991						X
283	Posto Manacas Ltda.	Manacas	Av. Pres. Tancredo Neves, 1095	605.373	7.800.393						X
284	Posto Manaus Ltda.	Manaus	Av. Silviano Brandão, 1785	612.970	7.797.993	?	-				X
285	Posto Mandarim Ltda.	Mandarim	Rua Desembargador Paula Mota, 31	606.842	7.802.418	21.05.84	-			X	
286	Posto Mangabeiras Ltda.	Mangabeiras	Av. Afonso Pena, 4321	612.954	7.793.964						X
287	Posto Marajó Ltda.	Marajó I	Rua Tupis, 1376	609.956	7.797.197						X
288	Posto Marajó Ltda.	Marajó II	Av. Afonso Vaz de Melo, 1025	602.128	7.790.865						X
289	Posto Maria Amélia Ltda.	Maria Amélia	Rua Maria Amélia, 490	610.455	7.805.435	15.03.85	Estanq. + IAP		X		
290	Posto Marques de Miranda Ltda.	Marques Miranda	Av. Amazonas, 5234	606.899	7.796.021	19.10.98	Est.+IA+REM	X			
291	Posto Master Ltda.	Master	Av. Barão Homem de Melo, 4578	609.403	7.791.678	21.12.92	-				X
292	Posto Mauá Ltda.	Mauá	Av. Dom Pedro II, 21	610.561	7.797.833						X
293	Posto Mauritânia Ltda.	Uruguai	Rua Uruguai, 86	611.513	7.793.916	04.11.71	-		X		
294	Posto MG Ltda.	MG	Rua Lagoa da Prata, 415	606.521	7.794.960						X
295	Posto Miguel Ltda.	Miguel	Av. Waldir Soeiro Emrich, 2050	604.677	7.790.780						X
296	Posto Miragem Ltda.	Miragem	Av. Amintas Jacques de Morais, 2015	602.677	7.799.106	12.07.96	-				X
297	Posto Montreal Ltda.	Montreal	Av. do Contorno, 10040	609.321	7.797.225						X
298	Posto Mustang Ltda.	Mustang	Rua Joaquim Murtinho, 9	610.539	7.794.970	1976	-		X		
299	Posto Nacional Ltda.	Nacional	Av. Dom Pedro I, 2177	609.092	7.807.335						X
300	Posto Nelito Ltda.	Nelito	Rua Olinda, 155	-	-						X

ANEXO 4.1 - POSTOS DE COMBUSTÍVEIS DE BELO HORIZONTE - Continuação

Nº	RAZÃO SOCIAL	NOME DO POSTO	ENDEREÇO	COORDENADAS – UTM		DATAS POS-TAN	INVEST. AMBIENT	CAR.POT.CONT			
				LONGIT.	LATIT.			E	M	R	D
301	Posto Neon Ltda.	Neon	Av. José Cândido da Silveira, 2415	613.795	7.801.468						X
302	Posto Nigt and Day Ltda.	Night and Day	Av. Barão Homem de Melo, 400	607.568	7.795.067	31.05.99	Estanq.				X
303	Posto Niquelina Ltda. (Reis Pneus e Comb.)	Niquelina	Av. do Contorno, 3347	613.174	7.796.588	1971	Estanq. + IA	X			
304	Posto Oásis Ltda.	Oásis	Rodov. BR-262 – km 5,9	-	-						X
305	Posto Odeon Ltda.	Odeon	Av. do Contorno, 1550	612.138	7.797.735	1981	-		X		
306	Posto Onix Ltda.	Onix	Rua Joaquim de Figueiredo, 8	602.830	7.791.190	?	Estanq.				X
307	Posto Orion Ltda.	Orion	Rua Padre Eustáquio, 1479	608.194	7.797.849	1971-1984	-			X	
308	Posto Ouro de Minas Ltda.	Ouro de Minas	Rua José Cleto, 152	611.740	7.805.940	?	Estanq.				X
309	Posto Ouro Fino Ltda.	Ouro Fino	Rua Piuim, 260	612.038	7.794.655						X
310	Posto Padre Eustáquio Ltda.	Padre Eustáquio	Av. Amazonas, 1800	609.924	7.796.485						X
311	Posto Palmares Ltda.	Palmares	Av. Silviano Brandão, 2109	613.305	7.798.057						X
312	Posto Palmira Ltda.	Palmira	Rua Palmira, 987	613.496	7.794.775						X
313	Posto Panamenho Ltda.	Panamenho	Rua Guarujá, 20	607.073	7.795.715	15.03.99	Estanq.				X
314	Posto Panorama Ltda.	Panorama	Rodov. BR-040 – km 0,5	-	-	01.04.73	-		X		X
315	Posto Parada Obrigatória Ltda.	Parada Obrigatória	Av. dos Andradas, 3858	614.314	7.797.941						X
316	Posto Paris Ltda.	Paris	Av. Prudente de Morais, 1133	610.016	7.794.242						X
317	Posto Patropi Ltda.	Patropi	Av. Cristiano Machado, 70	611.372	7.798.675	15.03.72	-		X		
318	Posto Pedro II Ltda. (W.R.Simone)	Pedro II	Av. Barão Homem de Melo, 3000	608.362	7.792.504	05.03.97	Estanq. + IA		X		
319	Posto Pedrosa Ltda.	Pedrosa	Av. Pres. Antônio Carlos, 1240	610.402	7.799.177						X
320	Posto Pelicano Ltda.	Pelicano	Av. Silviano Brandão, 786	612.157	7.798.365						X
321	Posto Phoenix Ltda.	Phoenix	Rua Platina, 999	608.150	7.796.913	24.09.93	Estanq.				X
322	Posto Piazza Ltda.	Piazza	Av. Dom Pedro II, 1020	609.572	7.797.764						X
323	Posto Pirajá Ltda.	Pirajá I	Rua Jacuí, 3741	611.773	7.801.317						X
324	Posto Pirajá Ltda.	Pirajá II	Av. Waldomiro Lobo, 432	612.803	7.805.440	1964-1988				X	
325	Posto Pires Ltda.	Pires	Av. Dom Pedro II, 2650	608.255	7.798.192						X
326	Posto Pitangui Ltda.	Pitangui	Av. Cristiano Machado, 71	611.307	7.798.703	?	IAP		X		
327	Posto Pit Stop Auto Serviço Ltda.	Pit Stop	Av. Pres. Antônio Carlos, 400	610.659	7.798.425	09.09.96	-				X
328	Posto Platina Ltda.	Platina	Rua Platina, 1007	608.121	7.796.905						X
329	Posto Ponta da Lapa Ltda.	Ponta da Lapa	Rua Mármore, 15	612.860	7.797.583	1980	-		X		
330	Posto Pontal Ltda.	Pontal	Av. Cristiano Machado, 7355	611.743	7.804.953	11.01.94					X

ANEXO 4.1 - POSTOS DE COMBUSTÍVEIS DE BELO HORIZONTE - Continuação

Nº	RAZÃO SOCIAL	NOME DO POSTO	ENDEREÇO	COORDENADAS - UTM		DATAS POS-TAN	INVEST. AMBIENT	CAR.POT.CONT			
				LONGIT.	LATIT.			E	M	R	D
331	Posto Ponte Nova Ltda.	Ponte Nova	Av. N. Sra. do Carmo, 450	611.554	7.794.460	1955	-		X		
332	Posto Portal Ltda.	Portal	Av. Dom Pedro II, 1678	609.209	7.798.282	12.07.82	-			X	
333	Posto Premium Ltda.	Premium	Av. Raja Gabáglia, 2526	609.218	7.792.844	16.06.98	Estanq.				X
334	Posto Presidente Ltda.	Presidente	Av. Pres. Antônio Carlos, 4050	609.565	7.802.247						X
335	Posto Presidente Tancredo Neves Ltda.	Tancredo Neves	Rua Aristolino Basílio de Oliveira, 55	-	-						X
336	Posto Prisma Ltda.	Prisma	Av. Vereador Cícero Ildefonso, 684	604.800	7.796.508	13.08.93	-				X
337	Posto Prudente Ltda.	Prudente	Av. Prudente de Morais, 569	610.087	7.794.702						X
338	Posto Quick Ltda.	Quick	Rua Cel. José Benjamin, 17	607.929	7.797.185	15.07.69	-	X			
339	Posto Racing Ltda.	Racing	Rua Moysés Kalil, 15	613.950	7.797.187						X
340	Posto Raja Ltda.	Raja	Av. Raja Gabáglia, 3270	609.308	7.792.289						X
341	Posto Ramadas Ltda.	Ramadas I	Rua Platina, 799	608.312	7.796.873						X
342	Posto Ramadas Ltda.	Ramadas II	Rua Calcedônia, 5	608.286	7.796.872						X
343	Posto RBM Ltda.	RBM	Rua Rio de Janeiro, 1270	610.930	7.796.472						X
344	Posto R.C. Ltda.	RC	Av. Santa Terezinha, 400	604.767	7.802.710	05.05.86	-			X	
345	Posto Rem Ltda.	Rem	Av. Amazonas, 4594	607.323	7.796.054	1969	Estanq. + IAP			X	
346	Posto Renata Ltda.	Renata	Rua Jaguari, 15	609.690	7.797.640						X
347	Posto Ressaquinha Ltda.	Ressaquinha	Av. Abílio Machado, 1345	604.585	7.798.764						X
348	Posto Riegert Ltda.	Riegert	Rua Curitiba, 2155	610.491	7.795.786	1971	-		X		
349	Posto Rio de Janeiro Ltda.	Rio de Janeiro	Av. do Contorno, 672	611.344	7.797.658						X
350	Posto Rodrigues Ltda.	Rodrigues	Av. Dom Pedro II, 1537	609.295	7.981.167	08.10.69	-		X		
351	Posto Romanali Ltda.	Romanali	Av. Silviano Brandão, 2419	613.582	7.798.267	01.06.98	Est.+IA+REM.	X			
352	Posto S Ltda.	S	Rua Grão Mogol, 953	611.576	7.793.869						X
353	Posto Sagarana Ltda.	Sagarana	Rua Dr. João Lúcio Brandão, 10	609.205	7.797.070	01.07.91	-			X	
354	Posto Sagres Ltda.	Sagres	Av. Bernardo Monteiro, 1152	612.100	7.796.050						X
355	Posto Santa Amélia Ltda.	Santa Amélia	Av. Portugal, 3201	607.675	7.805.366						X
356	Posto Santa Bárbara Ltda.	Santa Bárbara	Rua Rio Grande do Norte, 1615	611.700	7.794.893						X
357	Posto Santa Clara Ltda.	Santa Clara	Rua Cícero Ferreira, 179	612.731	7.795.410	1957	-		X		
358	Posto Santa Cruz Ltda.	Santa Cruz	Rodov. BR-356 - km 16,2	615.080	7.808.017	1964-1998	-				X
359	Posto Santa Inês Ltda.	Santa Inês	Av. Contagem, 1980	614.339	7.801.569						X
360	Posto Santa Lúcia Ltda.	Xuá	Rodov. BR-356 - km 2,1	-	-	1976	-		X		

ANEXO 4.1 - POSTOS DE COMBUSTÍVEIS DE BELO HORIZONTE - Continuação

Nº	RAZÃO SOCIAL	NOME DO POSTO	ENDEREÇO	COORDENADAS - UTM		DATAS POS-TAN	INVEST. AMBIENT	CAR.POT.CONT			
				LONGIT.	LATIT.			E	M	R	D
361	Posto Santa Mônica Ltda.	Santa Mônica	Av. Pres. Antônio Carlos, 2241	609.932	7.800.070	18.10.60	-		X		
362	Posto Santa Rosa Ltda.	Santa Rosa	Av. Sebastião de Brito, 330	610.557	7.803.557						X
363	Posto Santa Terezinha Ltda.	Santa Terezinha	Av. Sta. Terezinha, 426	603.905	7.802.082						X
364	Posto Santo André Ltda.	Santo André	Rua Leopoldina de Oliveira, 747	609.204	7.799.368	21.01.91	-			X	
365	Posto Santo Antônio Ltda.	Santo Antônio	Av. Dom Pedro II, 1125	609.480	7.797.792						X
366	Posto São Bento Ltda.	São Bento	Av. Raja Gabáglia, 2461	609.218	7.792.844						X
367	Posto São Francisco Ltda.	São Francisco	Av. Major Delfim de Paula, 2745	608.871	7.801.305						X
368	Posto São Geraldo Ltda.	São Geraldo	Rua dos Pampas, 275	608.897	7.797.000	1969	-		X		
369	Posto São João Comb. e Lubrificantes Ltda.	São João	Rua Desembargador Barcelos, 196	607.572	7.796.387						X
370	Posto São José Ltda.	São José	Av. Getúlio Vargas, 1010	611.760	7.795.273	29.11.60	-		X		
371	Posto São Onofre Ltda	Santo Onofre	Rua Érico Veríssimo, 1645	607.166	7.808.476	01.04.86	-			X	
372	Posto São Paulo Atlântida Ltda.	São Paulo	Av. Heráclito Mourão de Miranda, 1851	604.233	7.801.751	30.10.97	-				X
373	Posto São Pedro Ltda.	São Pedro	Rua Niquelina, 918	613.950	7.799.150	1972-1994	-				X
374	Posto São Sebastião Ltda.	São Sebastião	Rua Dr. João Lúcio Brandão, 10	609.160	7.797.010						X
375	Posto Sapucahí Ltda.	Sapucahí	Rua Sapucaí, 469	611.762	7.797.303						X
376	Posto Saramenha Ltda.	Saramenha	Av Serrano, 750	605.493	7.801.672	19.01.95	Estanq.				X
377	Posto Saturno Ltda.	Saturno	Anel do Contorno, km 5	-	-						X
378	Posto Savassi Ltda.	Savassi	Av. Cristovão Colombo, 447	611.298	7.725.257						X
379	Posto Sayonara Ltda.	Sayonara	Av. Dom Pedro II, 2958	607.977	7.798.060	1972	-	X			
380	Posto Scala Ltda.	Scala	Rua Guarujá, 20	607.072	7.795.714						X
381	Posto Seguro Ltda.	Seguro I	Av. Crisitano Machado, 7150	611.734	7.804.913						X
382	Posto Seguro Ltda.	Seguro II	Av. Pres. Carlos Luz, 451	608.408	7.798.720						X
383	Posto Serrano Ltda.	Serrano	Av. Abílio Machado, 3123	603.773	7.799.976	01.07.76	-		X		
384	Posto Sete Belo Ltda.	Sete Belo	Av. Cristiano Machado, 6500	611.584	7.804.091	11.10.84	-			X	
385	Posto Sete Comercial Ltda.	Sete Comercial	Av. Dr. Otacílio Negrão de Lima, 2900	607.120	7.803.590						X
386	Posto Shopping Ltda.	Shopping	Av. Barão Homem de Melo/Rua J.R.Pereira	609.340	7.791.610						X
387	Posto Sion Ltda.	Sion	Rua Grão Mogol, 953	611.576	7.793.869						X
388	Posto Sukata Ltda.	Sukata	Rua Pres. Costa e Silva, 290	603.740	7.792.887	17.09.90				X	
389	Posto Tamara Ltda.	Tamara	Av. Amazonas, 1560	610.110	7.796.550						X
390	Posto Tatiana Ltda.	Tatiana	Av. Dom Pedro I, 468	608.235	7.805.895	19.06.91	Est.+IAP+IA	X			

ANEXO 4.1 - POSTOS DE COMBUSTÍVEIS DE BELO HORIZONTE - Continuação

Nº	RAZÃO SOCIAL	NOME DO POSTO	ENDEREÇO	COORDENADAS - UTM		DATAS POS-TAN	INVEST. AMBIENT	CAR.POT.CONT			
				LONGIT.	LATIT.			E	M	R	D
391	Posto Tereza Cristina Ltda.	Tereza Cristina	Av. Tereza Cristina, 820	608.357	7.797.425	01.10.72	-		X		
392	Posto Tex-Kar Ltda.	Tex-Kar I	Rua Silva Jardim, 388	611.884	7.797.634	1972-1994	-				X
393	Posto Tex-Kar Ltda.	Tex-Kar II	Rua Sapucaí, 85	611.850	7.797.630						X
394	Posto Tic-Tac Aeroporto Ltda.	Pole Position	Av. Pres. Antônio Carlos, 6682	608.995	7.803.894	?	Estanq.				X
395	Posto Tigre Ltda.	São Luiz SS018	Av. Brasil, 401	612.696	7.796.437						X
396	Posto Tiradentes Ltda.	Tiradentes	Rua Calcedônia, 5	608.290	7.796.820						X
397	Posto Tirol Ltda.	Tirol	Av. Afonso Vaz de Melo, 2770	601.275	7.790.043						X
398	Posto Tocantins Ltda.	Tocantins	Av. do Contorno, 1955	612.342	7.797.490	24.08.70	-		X		
399	Posto Trancoso Ltda.	Trancoso	Av. José Cleto, 1232								X
400	Posto Tranquilão Ltda.	Tranquilão	Rua Espinosa, 20	609.173	7.798.569	1973-1998	-				X
401	Posto Tripuí Ltda.	Tripuí	Av. Antônio Bandeira, 12	613.325	7.805.400	29.09.97	-				X
402	Posto Trópico Ltda.	Trópico	Av. Pres. Antônio Carlos, 6640	609.185	7.803.350	1965-1992	-				X
403	Posto Túnel Ltda.	Túnel	Av. Silviano Brandão, 652	612.030	7.798.410						X
404	Posto Tupi Ltda.	Tupi	Rua Tupis, 1774	609.543	7.797.310						X
405	Posto Um Ltda.	Um	Rua dos Otonis, 601	612.460	7.796.360						X
406	Posto União Ltda.	União I	Rua Padre Pedro Pinto, 20	609.722	7.808.021						X
407	Posto União Ltda.	União III	Av. Dom Pedro I, 3880	609.815	7.808.050	08.01.80	-		X		
408	Posto Urbano Ferraz Ltda.	Urbano Ferraz V	Av. Amazonas, 5800	606.262	7.795.876	22.05.71	Estanq. + IAP		X		
409	Posto Urbano Ferraz Ltda.	Urbano Ferraz I	Rua Aimorés, 1841	610.800	7.796.170	1986	-			X	
410	Posto Urbano Ferraz Ltda.	Urbano Ferraz III	Av. Amazonas, 5353	606.825	7.795.951						X
411	Posto Urbano Ferraz Ltda.	Urbano Ferraz II	Av. Álvares Cabral, 780	610.811	7.796.200	1967	-		X		
412	Posto Uruguai Ltda.	Uruguai	Rua Uruguai, 783	611.908	7.793.344	1979	-		X		
413	Posto Vanorte Ltda.	Vanorte	Rua Martinica, 800	608.550	7.807.106	22.09.97	-				X
414	Posto Vaz Ltda.	Vaz	Av. N.Sra. de Fátima, 1612	610.418	7.797.790	24.03.97					X
415	Posto Venda Nova Ltda.	Venda Nova	Rua Padre Pedro Pinto, 1720	608.400	7.809.040	1986	Estanq. + IAP		X		
416	Posto Vera Cruz Ltda.	Vera Cruz 1	Rua Niquelina, 546	613.650	7.796.880	1963-1997	-				X
417	Posto Vera Cruz Ltda.	Vera Cruz 2	Rua Azurita, 30	612.482	7.797.603	28.05.63	-		X		
418	Posto Vera Cruz Ltda.	Vera Cruz 3	Rua Niquelina, 1396	614.308	7.797.406	1963-1991	-			X	
419	Posto Vic's	Vic's	Av. Francisco de Sá, 990	608.920	7.795.970	1971	-		X		
420	Posto Vicentão Ltda.	Vicentão	Rua Hermílio Alves, 22	612.420	7.797.290						X

ANEXO 4.1 - POSTOS DE COMBUSTÍVEIS DE BELO HORIZONTE - Continuação

Nº	RAZÃO SOCIAL	NOME DO POSTO	ENDEREÇO	COORDENADAS - UTM		DATAS POS-TAN	INVEST. AMBIENT	CAR.POT.CONT			
				LONGIT.	LATIT.			E	M	R	D
421	Posto Vila Rica Ltda.	Vila Rica	Av. Silva Lobo, 700	607.631	7.796.048						X
422	Posto Vilarinho Ltda.	Vilarinho	Av. Vilarinho, 1691	608.168	7.809.298						X
423	Posto Violeta Ltda.	Violeta	Rua 28 de Setembro, 575	614.467	7.798.561	01.03.86	Estanq.			X	
424	Posto Vista Alegre Ltda.	Vista Alegre	Rua Juatuba, 10	612.950	7.805.645						X
425	Posto Wap Ltda.	Wap	Av. Dom Pedro II, 4091	606.860	7.797.904	20.04.75	-		X		
426	Posto Wilson Piazza Ltda.	Wilson Piazza	Rua Estevão Pinto, 768	612.830	7.794.653						X
427	Posto Xingu Ltda.	Xingu	Rua Mármore, 585	613.402	7.797.440	1975-1998	-				X
428	Posto Xiripa Ltda.	Xiripa	Av. Olegário Maciel, 1772	610.190	7.795.940						X
429	Posto Xuá Ltda.	Xuá	Rodov. BR-356, 2906	-	-						X
430	Posto Zen Ltda.	Zen	Av. Pres. Carlos Luz, 638	608.360	7.798.894	19.08.94	-				X
431	Posto 2600 Ltda.	2600	Rua Gonçalves Dias, 2600	609.990	7.796.090						X
432	Progresso Com.de Derivados de Petróleo Lt	Bahia	Av. Pres. Antônio Carlos, 3494	609.874	7.801.318	02.01.74	Estanq.	X			
433	Raimundo Alves Pedrosa	Pedrosa	Av. Pres. Antônio Carlos, 1160	610.430	7.799.060	1949	-		X		
434	Rem Empreendimentos Ltda.	Rem	Av. Amazonas, 8245	604.487	7.794.804	23.12.98	-				X
435	ROL Com.de Derivados de Petróleo Ltda.	Rol	Av. dos Andradas, 3520	614.184	7.797.411	01.09.96	-				X
436	Roma Com.de Combustível e Lubrific.Ltda.	Roma	Rua Leopoldo Gomes, 900	615.207	7.797.974						X
437	Sami Mina Bishay	Pampulha	Av. Dom Pedro I, 468	608.234	7.805.895						X
438	Santa Rosa Auto Posto Ltda.	Santa Rosa	Av. Sebastião de Brito, 330	610.540	7.803.500	16.03.88	-			X	
439	São Francisco Partic.Transp.Serviços Ltda.	São Francisco	Av. Major Delfino da Paiva, 2745	608.871	7.801.305	25.05.70	-		X		
440	Sociedade Comercial Canaã Ltda.	Jocket	Rodov. MG-424 – km 15,8	-	-	?	-				X
441	Tic Tac Derivados de Petróleo Ltda.	Tic Tac	Av. do Contorno, 9641	609.080	7.796.607						X
442	Touring Club do Brasil	Touring	Av. Pres. Antônio Carlos, 2826	609.901	7.800.643	1976	-		X		
443	Tupi Revendedora de Petróleo Ltda.	Dom Cabral	Av. Vereador Cícero Ildefonso, 539	604.965	7.796.432	1968-1980	-		X		
444	Wampade Ltda.	Tucano	Av. do Contorno, 6007	611.630	7.794.780						X

DATAS: POS = POSTO; TAN = TANQUE INVEST AMBIENT = INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL

CAR.POT.CONT. = CARGA POTENCIAL CONTAMINANTE: E = ELEVADA; M = MODERADA; R = REDUZIDA; D = DESCONHECIDA

ANEXO 4.2 - ANÁLISES QUÍMICAS DE BTEX

POÇO Nº	Etanol	Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	Xileno
	µg/l				
208	<2	<10	<10	<10	<10
209	<2	<10	<10	<10	<10
203	<2	<10	<10	<10	<10
207	<2	<10	<10	<10	<10
206	<2	<10	<10	<10	<10
199	<2	<10	<10	<10	<10
205	<2	<10	<10	<10	<10
204	<2	<10	<10	<10	<10
201	<2	<10	<10	<10	<10
160	<2	<10	<10	<10	<10
158	<2	<10	<10	<10	<10
167	<2	<10	<10	<10	<10
164	<2	<10	<10	<10	<10
148	<2	<10	<10	<10	<10
105	<2	<10	<10	<10	<10
106	<2	<10	<10	<10	<10
92	<2	<10	<10	<10	<10
133	<2	<10	<10	<10	<10
130	<2	<10	<10	<10	<10
165	<2	<10	<10	<10	<10
206-A	<2	11	<10	<10	<10
150	<2	<10	<10	<10	<10
128	<2	<10	<10	<10	<10
202	<2	<10	<10	<10	<10
113	<2	<10	<10	<10	<10

ANEXO 4.3 - EFLUENTES INDUSTRIAIS NAS BACIAS DO ARRUDA E ONÇA POR RAMO DE ATIVIDADE

CODIGO ATIV.EC.	TIPO DE INDÚSTRIA	VAZÃO DO EFL.m^3/mês	CARGA em kg/dia			OUTROS POLUENTES - kg/dia			
			SOL.SUSP.	DBO_5	DQO	Cianetos	Fenóis	Fósforo	Sulfatos
10	Produtos minerais não metálicos	10.019	252,88	115,49	203,16	0	0,14	1,65	16,47
11	Metalúrgica	442.661	9.333,02	4.314,17	14.807,86	11,45	378,34	17,72	2.572,60
12	Mecânica	8.529	25,15	85,60	316,62	0	0,01	0,64	22,43
13	Material elétrico, eletrônico e de comunicação	3.689	5,06	15,94	24,22	0	0	0,58	1,22
14	Material de transporte	888	0,46	1,08	2,04	0	0	0	0,29
15	Madeira	2	0,01	0,01	0,02	0	0	0	0
16	Mobiliário	538	3,54	2,65	5,31	0	0	0	0,18
17	Papel, papelão e celulose	1.556	2,78	17,60	29,88	0	0	0,17	2,05
18	Borracha	2.646	17,09	30,42	53,22	0	0	0,04	3,48
19	Couros, peles e assemelhados	10	0,07	0,12	0,20	0	0	0	0
20	Química	4.538	142,31	253,89	674,82	0	0	0,11	7,39
21	Produtos farmacêuticos e veterinários	1.369	9,67	16,18	31,72	0	0	0,02	1,80
22	Refino de petróleo e destilação de álcool	91	0,02	0,27	0,76	0	0	0	0,06
23	Materiais plásticos	4.041	6,12	5,92	20,39	0	0	0,07	13,23
24	Têxtil	76.208	255,83	1.373,09	4.574,76	0	0	7,79	122,99
25	Vestuário, artefatos de tecidos e de viagem	-	-	-	-	-	-	-	-
26	Produtos alimentícios	55.691	4.881,63	2.745,88	5.563,53	0	0	22,38	57,02
27	Bebidas	25.287	110,43	460,31	1.611,64	0	0,01	1,50	32,52
28	Fumo	-	-	-	-	-	-	-	-
29	Editorial e gráfica	1.203	6,50	9,76	75,28	0	0	0,14	0,40
30	Diversos	286	0,83	0,94	2,04	0	0	0	0,09
31	Calçados	7	0,07	0,05	0,10	0	0	0	0
33	Construção	2.419	39,98	39,71	88,04	0	0	0,10	3,18
5311	Lavandarias e tinturarias	5.145	69,89	73,81	157,00	0	0	0,73	8,48
5576	Fotografia e laboratórios de revelação	330	0,40	7,21	18,03	0	0	0,01	054
5584	Tingimento e estamparia	2.134	6,65	49,25	99,94	0	0	0,07	3,51
TOTAIS		649.288	15.170,00	9.619,00	28.311,00	11,45	378,51	53,72	2.869,93

ANEXO 4.3 - EFLUENTES INDUSTRIAIS NAS BACIAS DO ARRUDA E DO ONÇA POR RAMO DE AITIVIDADE - Continuação

CÓDIGO ATIV.EC.	TIPO DE INDÚSTRIA	METAIS PESADOS - kg/dia											
		Arsen.	Cadm.	Chum.	Cobre	Cr.He.	Est.	Merc.	Níquel	Prata	Selen.	Zinco	TOTAL
10	Produtos minerais não metálicos	0	0	0,003	0	0	0	0	0	0	0	0,012	0,015
11	Metalúrgica	0	0,003	35,208	4,607	1,913	3,429	0,003	4,208	0,002	0,002	20,145	69,520
12	Mecânica	0	0	0,255	0,210	0	0,011	0	0,302	0	0	0,431	1,209
13	Material elétrico, eletrônico e de comunicação	0	0	0,026	0,079	0	0	0	0,039	0	0	0,206	0,350
14	Material de transporte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0,001
15	Madeira	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	Mobiliário	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	Papel, papelão e celulose	0	0	0,133	0,046	0,018	0	0	0,004	0	0	0,008	0,209
18	Borracha	0	0	0	0	0,029	0	0	0	0	0	0,009	0,039
19	Couros, peles e assemelhados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	Química	0	0	0,051	0,043	0	0	0	0	0	0	0,072	0,166
21	Produtos farmacêuticos e veterinários	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	Refino de petróleo e destilação de álcool	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0,001
23	Materiais plásticos	0,002	0	0,039	0	0	0	0	0,006	0	0	0,066	0,113
24	Têxtil	0	0	0,274	0,161	0	0	0	0,051	0	0	0,835	1,320
25	Vestuário, artefatos de tecidos e de viagem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	Produtos alimentíceos	0	0,01	0,016	0	0	0	0	0	0	0	0,390	0,407
27	Bebidas	0	0	0,148	0	0	0	0	0	0	0	0,815	0,963
28	Fumo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	Editorial e gráfica	0	0	0,003	0,006	0	0	0	0,002	0	0	0,028	0,039
30	Diversos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	Calçados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	Construção	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5311	Lavandarias e tinturarias	0	0	0,036	0,059	0	0	0	0,001	0	0	0,014	0,110
5576	Fotografia e laboratório de revelação	0	0	0	0	0	0	0	0	0,002	0	0,002	0,004
5584	Tingimento e estamparia	0	0	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0,015	0,021
TOTAIS		0,002	0,004	36,195	5,211	1,964	3,441	0,003	4,613	0,004	0,002	23,049	74,487

ANEXO 4.4 - CARGA POLUIDORA DAS PRINCIPAIS INDÚSTRIAS DE BELO HORIZONTE

Nº	TIPO DE INDÚSTRIA	CÓDIGO ATIV.EC.	VAZÃO EFL.m^3/a	CARGA em kg/dia			OUTROS POLUENTES - kg/dia			
				DBO_5	DQO	SOL.SUSP	Cianetos	Fenóis	Fósforo	Sulfatos
01	Alimenta – Alimentos Industriais Ltda.	2255	1.994	2,52	4,70	1,66	0	0	0,056	0,109
02	Alumafer Esquadrias de Alumínio e Ferro									
03	Belomassa Produtos Alimentícios Ltda.									
04	Brasil Beton S.A.									
05	Central Beton Ltda.									
06	Cera Inglesa Ind. e Com. Ltda.	2084	2.033	4,73	12,64	0,85	0	0	0,012	0,278
07	CGB Artes Gráficas Ltda.	2932	127	0,08	0,26	-	0	0	0,012	0,278
08	Cinox Tubos e Aços Ltda.									
09	Color Têxtil Participações Ltda.	2434	148.920	2,04	322,32	18,77	0	0	4,202	19,421
10	Companhia Renascença Industrial	2434	230.600	308,31	1.402,55	135,20	0	0	0,183	32,379
11	Coop. Cent. Dos Produtores Rurais de MG	2671	102.200	137,76	339,08	89,60	0	0	3,052	41,720
12	Coop.dos Granj.Do Oeste de Minas- Cogran	2654	17.520	27,26	45,98	13,82	0	0	0,442	0,144
13	Diário do Comércio Emp.Jornalística Ltda.	2911	564	0,64	2,23	-	0	0,002	0,006	0,015
14	Digitus Ind.Com.e Serv.Eletrônica									
15	Etros Eng. Ltda. – Usina de asfalto	2211	960	0,24	0,69	-	0	0	0	0,053
16	Fábrica de Biscoito Frei Eustáquio Ltda.	2683	227	0,54	1,24	1,22	0	0	0,001	0,019
17	Fênix Tracionária Ltda.	1191	1.599	0,57	1,21	-	0	0	0	0,014
18	Ferrosider Ind.e Com.de Prod.Siderúrg. Lt.									
19	Fosfamig Ltda.	1182	1.577	0,72	1,52	-	0	0,001	0,004	0,072
20	Foto Studio e Fotoprocessamento MG Ltda.									
21	Franco Matos Ind. e Com. de Malhas	2434	193.033	221,61	792,13	-	0	0	1,375	26,972
22	Freios BH Ltda.									
23	Frigorífico Modelo Ltda.	2651	255.291	1.405,85	3.043,91	4.336,46	0	0	14,688	2,098
24	Frigorífico Perrella Ltda.	2655	30.660	120,96	192,36	108,70	0	0	0,420	0,588
25	Gráfica Valéria Ltda.									
26	Guelman Têxtil Ltda.									
27	Guiatel S.A. – Ed.Guias Telefônicas	2931	2.688	3,01	1055	0,57	0	0	0,027	0,074
28	Hexágono Industrial Ltda.									
29	Ideal Alimentos Ltda.	2681	504	0,62	1,43	0,45	0	0	0,001	0,040
30	Imprensa Oficial do Estado de MG									
31	Indústria de Aparelhos Elétricos Cherubino	1341	469	1,03	1,59	0,04	0	0	0	0,013
32	Indústria de Carnes e Derivados S.João Ltda.	2651	45.051	137,01	533,21	25,43	0	0	0,716	0,370
33	Indústria de Móveis Mazziero Ltda.									
34	Indústria de Refrigerantes Del Rey Ltda.	2741	58.606	211,95	645,47	7,71	0	0	0,059	2,087

35	Indústria de Transformadores KING Ltda.									
36	Ind.e Com.de Carnes Américo Vespúcio Ltda.	2655	3.654	8,41	34,92	3,36	0	0	0,080	0,050
37	Indústria Têxtil Correa Sodré Ltda.									
38	Industrial Horizonte Têxtil Ltda.	2434	154.864	407,31	729,77	36,06	0	0	1,061	21,214
39	KADRON S.A.									
40	KMYC Estamparia e Produções Ltda.	2434	2.538	3,39	11,19	-	0	0	0,011	0,348
41	Laboratório Globo Ltda.	2111	2.268	1,24	3,58	-	0	0	0,003	0,249
42	Lac Minas Ltda.									
43	Lácua Di Fiori Produtos Aromáticos Ltda.	2085	2.216	10,38	19,63	2,28	0	0,001	0	0,304
44	Laticínios Sucos e Sorvetes PAP Ltda.	2691	4.928	0,41	1,16	-	0	0	0,057	0,405
45	Lorde Lavandaria de Luxo Ltda.									
46	Madson Eletro Metalurgia Ltda.	1182	7.821	6,47	13,61	-	0	0	0,598	1,071
47	Mannesmann S.A.	1104	4.197.226	2.162,58	10.604,3	5.147,05	11,26	363,55	1,920	2.297,00
48	Mate Couro S.A.	2741	135.154	122,19	557,65	90,72	0	0,007	1,074	26,290
49	Metalúrgica Triângulo S/A. Metrila	1222	4.367	2,15	8,61	0,87	0	0	0,004	0,957
50	Pink Alimentos do Brasil	2699	2.253	4,81	13,58	4,09	0	0	0,031	0,185
51	Plabat Ind. e Com. Ltda.									
52	Plastikero Ind. e Com. Ltda.	2326	13	0,01	0,04	0,01	0	0	0	0,029
53	Pneusola Pneus e Peças Ltda.									
54	Pneus Nacional Ltda.									
55	Quiminas Ind. e Com. Ltda.	2061	811	32,00	182,64	26,97	0	0	0,038	0,111
56	Radiadores Original Ltda.	1224	1.877	48,14	192,55	8,87	0	0	0,001	0,411
57	RAM Ind. e Com. Ltda.									
58	Refrigerantes Minas Gerais Ltda.	2741	100.825	82,87	254,69	11,88	0	0	0,331	3,315
59	Ribeiro Fonseca Laticínios S.A.	2671	8.176	1,34	2,69	1,52	0	0	0,112	0,672
60	Serial Comunicação Visual Ltda.	5584	1.224	2,55	6,37	-	0	0	0,001	0,168
61	Stampa Impl. Publicitario Ltda.	5584	125	0,16	0,50	-	0	0	0	0,017
62	Sucabel Ltda.	2326	42	0,21	0,97	-	0	0	0	0,095
63	Sudoeste Plásticos Ltda.	2329	782	0,04	0,19	-	0	0	0,001	0,047
64	Super Aço Construções Mecânicas									
65	Super Aço Técnica Ltda.									
66	Técnica em Moldes e Estampas Ltda.									
67	Tecno-ar Indústria e Comércio									
68	Tinturaria Prisma Ltda.	5311	626	2,62	8,37	0,59	0	0	0,001	0,105
69	Torres Organizações de Lavandaria Ltda.	5311	4.308	12,52	29,04	-	0	0	0,035	0,590

ANEXO 4.4 - CARGA POLUIDORA DAS PRINCIPAIS INDÚSTRIAS DE BELO HORIZONTE - Continuação

Nº	TIPO DE INDÚSTRIA	METAIS PESADOS - Kg/dia											
		Arsen.	Cadm.	Chum	Cobre	Cr.He	Estan.	Merc.	Níquel	Prata	Selen.	Zinco	Total
01	Alimenta – Alimentos Industriais Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02	Alumafer Esquadrias de Alumínio e Ferro												
03	Belomassa Produtos Alimentícios Ltda.												
04	Brasil Beton S.A.												
05	Central Beton Ltda.												
06	Cera Inglesa Ind. e Com. Ltda.	0	0	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0,003	0,005
07	CGB Artes Gráficas Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08	Cinox Tubos e Aços Ltda.												
09	Color Têxtil Participações Ltda.	0	0	0,029	0	0	0	0	0	0	0	0,204	0,233
10	Companhia Renascença Industrial	0	0	0,082	0	0	0	0	0,051	0	0	0	0,133
11	Coop. Cent. Dos Produtores Rurais de MG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Coop.dos Granj.Do Oeste de Minas- Cogran	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Diário do Comércio Emp.Jornalística Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Digitus Ind.Com.e Serv.Eletrônica												
15	Etros Eng. Ltda. – Usina de asfalto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0,001
16	Fábrica de Biscoito Frei Eustáquio Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	Fênix Tracionária Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	Ferrosider Ind.e Com.de Prod.Siderúrg. Lt.												
19	Fosfamig Ltda.	0	0	0	0,002	0	0	0	0	0	0	0,038	0,040
20	Foto Studio e Fotoprocessamento MG Ltda.												
21	Franco Matos Ind. e Com. de Malhas	0	0	0,074	0	0	0	0	0	0	0	0,127	0,201
22	Freios BH Ltda.												
23	Frigorífico Modelo Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	Frigorífico Perrella Ltda.	0	0,001	0,016	0	0	0	0	0	0	0	0,057	0,074
25	Gráfica Valéria Ltda.												
26	Guelman Têxtil Ltda.												
27	Guiatel S.A. – Ed.Guias Telefônicas	0	0	0	00,001	0	0	0	0	0	0	0,004	0,005
28	Hexágono Industrial Ltda.												
29	Ideal Alimentos Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	Imprensa Oficial do Estado de MG												
31	Indústria de Aparelhos Elétricos Cherubino	0	0	0	0,022	0	0	0	0,026	0	0	0,005	0,053
32	Indústria de Carnes e Derivados S.João Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,025	0,025
33	Indústria de Móveis Mazziero Ltda.												
34	Indústria de Refrigerantes Del Rey Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

35	Indústria de Transformadores KING Ltda.												
36	Ind.e Com.de Carnes Américo Vespúcio Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,002	0,002
37	Indústria Têxtil Correa Sodré Ltda.												
38	Industrial Horizonte Têxtil Ltda.	0	0	0,064	0,059	0	0	0	0	0	0	0,170	0,293
39	KADRON S.A.												
40	KMYC Estamparia e Produções Ltda.	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0,001	0,002
41	Laboratório Globo Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	Lac Minas Ltda.												
43	Lácua Di Fiori Produtos Aromáticos Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	Laticínios Sucos e Sorvetes PAP Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	Lorde Lavandaria de Luxo Ltda.												
46	Madson Eletro Metalurgia Ltda.	0	0	0,003	0,006	0	0	0	0,003	0	0	0,120	0,132
47	Mannesmann S.A.	0	0	4,490	1,250	0,500	3,350	0	1,590	0	0	8,590	19,770
48	Mate Couro S.A.	0	0	0,148	0	0	0	0	0	0	0	0,815	0,963
49	Metalúrgica Triângulo S/A. Metrila	0	0	0,002	0,141	0	0	0	0,199	0	0	0,018	0,361
50	Pink Alimentos do Brasil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	Plabat Ind. e Com. Ltda.												
52	Plastikero Ind. e Com. Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	Pneusola Pneus e Peças Ltda.												
54	Pneus Nacional Ltda.												
55	Quiminas Ind. e Com. Ltda.	0	0	0,007	0,016	0	0	0	0	0	0	0,002	0,025
56	Radiadores Original Ltda.	0	0	0,004	0,001	0	0,011	0	0	0	0	0,002	0,013
57	RAM Ind. e Com. Ltda.												
58	Refrigerantes Minas Gerais Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59	Ribeiro Fonseca Laticínios S.A.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	Serial Comunicação Visual Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0,001
61	Stampa Impl. Publicitario Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	Sucabel Ltda.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	Sudoeste Plásticos Ltda.	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0,003
64	Super Aço Construções Mecânicas												
65	Super Aço Técnica Ltda.												
66	Técnica em Moldes e Estampas Ltda.												
67	Tecno-ar Indústria e Comércio												
68	Tinturaria Prisma Ltda.	0	0	0,001	0,003	0	0	0	0,001	0	0	0,002	0,006
69	Torres Organizações de Lavandaria Ltda.	0	0	0,004	0,006	0	0	0	0	0	0	0,001	0,011

LEI Nº 7.277 DE 17 DE JANEIRO DE 1997

Institui a Licença Ambiental e dá outras providências.

O povo do Município de Belo Horizonte, por seus representantes, decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Art. 1º - A construção, a ampliação, a instalação e o funcionamento de empreendimentos de impacto ficam vinculados à obtenção prévia da Licença Ambiental.

Art. 2º - Empreendimentos de impacto são aqueles, públicos ou privados, que venham a sobrecarregar a infra-estrutura urbana ou a ter repercussão ambiental significativa.

§ 1º - São considerados empreendimentos de impacto:

I - os destinados a uso não residencial nos quais a área edificada seja superior a 6.000 m2 (seis mil metros quadrados);

II - os destinados a uso residencial que tenham mais de 150 (cento e cinquenta) unidades;

III - os destinados a uso misto em que o somatório da razão entre os número de unidades residenciais e 150 (cento e cinquenta) e da razão entre a área da parte da edificação destinada ao uso não-residencial e 6.000 m2 (seis mil metros quadrados) seja igual ou superior a 1 (um);

IV - os parcelamentos de solo vinculados, exceto os propostos para terrenos situados na ZEIS - Zona de Especial Interesse Social - com área total parcelada inferior a 10.000 m2 (dez mil metros quadrados);

V - os seguintes empreendimentos e os similares :

a) aterros sanitários e usinas de reciclagem de resíduos sólidos;
b) autódromos , hipódromos e estádios esportivos;
c) cemitérios e necrotérios;
d) matadouros e abatedouros;
e) presídios;
f) quartéis;
g) terminais rodoviários, ferroviários e aeroviários;
h) vias de tráfego de veículos com 2 (duas) ou mais faixas de rolamento;
i) ferrovias, subterrâneas ou de superfície;
j) terminais de minério, petróleo e produtos químicos;
l) oleodutos, gasodutos, minerodutos, troncos coletores e emissários de esgotos sanitários;
m) linhas de transmissão de energia elétrica, acima de 230 Kv (duzentos e trinta quilovolts);
n) usinas de geração de eletricidade, qualquer que seja a fonte de energia primária, acima 10 Mw (dez megawatts)
o) obras para exploração de recursos hídricos, tais como barragens, canalizações, retificações de coleções de água, transposições de bacias e diques;
p) estações de tratamento de esgotos sanitários;
q) distritos e zonas industriais;

r) usina de asfalto.

§ 2º - O Conselho Municipal de Meio ambiente – COMAM - poderá, em deliberação normativa, incluir novos empreendimentos na relação do inciso V do parágrafo anterior.

Art. 3º - A Licença Ambiental será outorgada pelo COMAM, mantidas as demais licenças legalmente exigíveis;

Parágrafo único - A outorga da Licença ambiental será precedida da publicação de edital - explicitando o uso pretendido, o porte e a localização - em órgão oficial de imprensa e em jornal de grande circulação no Município, com ônus para o requerente, assegurando ao público prazo para exame do pedido, dos respectivos projetos e dos pareceres dos órgãos municipais e para apresentação de impugnação, fundamentada e por escrito.

Art. 4º - O COMAM, se julgar necessário, promoverá a realização de audiência pública para informação sobre o projeto e seus impactos ambientais e urbanos e discussão do Relatório de Impacto ambiental - RIMA.

Parágrafo Único - A convocação de audiência pública será feita por meio de edital, publicado em jornal de grande circulação no Município e em órgão oficial de imprensa, com a antecedência mínima de 5 (cinco) dias úteis.

Art. 5º - O COMAM, no exercício de sua competência, expedirá as seguintes licenças:

I - **Licença Prévia** - (LP), na fase preliminar do planejamento da atividade, contendo requisitos básicos a serem atendidos nas fases de construção, ampliação, instalação e funcionamento, observadas as leis municipais, estaduais e federais de uso do solo;

II - **Licença de Implantação** (LI), autorizando o início da implantação, de acordo com as especificações constantes do projeto aprovado e verificados os requisitos básicos definidos para esta etapa.

III - **Licença de Operação ou Licença de Ocupação** (LO) , autorizando, após as verificações necessárias e a execução das medidas mitigadoras do impacto ambiental e urbano, o início da atividade licenciada ou da ocupação residencial, de acordo com o previsto na LP e na LI.

§ 1º - No caso de construção ou ampliação de empreendimentos de impacto, a LP e a LI deverão preceder a outorga do Alvará de Construção; e a LO, a da Certidão de Baixa e Habite-se.

§ 2º - A LP é precedida da apresentação de Estudo de Impacto Ambiental - EIA- e do respectivo RIMA, a serem aprovados pelo COMAM.

§ 3º - A LI é precedida da apresentação do Plano de Controle Ambiental - PCA- a ser aprovado pelo COMAM.

§ 4º - Serão definidos pelo COMAM, mediante deliberação normativa, para cada empreendimento ou grupo de empreendimentos:

I - os requisitos prévios para obtenção das licenças mencionadas;

II - o roteiro básico de elaboração do EIA, RIMA e PCA.

Art. 6º - Para avaliação do cumprimento das obrigações assumidas para a obtenção da LI e LO, o COMAM poderá determinar, quando necessário, a adoção de dispositivos de medição, análise e controle, a cargo do responsável pelo empreendimento, diretamente ou por empresa do ramo, de reconhecida idoneidade e capacidade técnica.

Parágrafo Único - A medição, a análise ou o controle deverão ser precedidos de comunicado à Secretaria Municipal de Meio Ambiente, que poderá fazer-se representar por um técnico de sua escolha.

Art. 7º - Os empreendimentos sujeitos à Licença Ambiental que, na data da publicação desta lei, já estejam instalados ou em funcionamento, deverão apresentar o Relatório de Controle Ambiental - RCA - , a ser aprovado pelo COMAM.

Parágrafo Único - As diretrizes para elaboração do RCA serão definidas pelo COMAM para cada atividade ou grupo de atividades, mediante deliberação normativa.

Art. 8º - O prazo para outorga das licenças referidas no art. 5º será de 60 (sessenta) dias para a LP e 30 (trinta) dias para as demais, contado da data da apresentação do requerimento acompanhado dos documentos necessários.

§ 1º - Somente com a anuência do Plenário do COMAM e tendo em vista a complexidade do exame do impacto ambiental e urbano, poderá ser prorrogado, por igual período, o prazo previsto no *caput*.

§ 2º - Esgotado o prazo previsto no *caput* deste artigo, ou a prorrogado na forma do parágrafo anterior, sem que haja decisão do COMAM, será considerada outorgada a licença requerida.

Art. 9º - O procedimento administrativo para a concessão das licenças referidas será estabelecido em deliberação normativa do COMAM.

§1º - A ampliação ou a modificação do objeto da Licença Ambiental sujeitar-se - ão a novo licenciamento.

A análise do EIA,RIMA, PCA ou RCA poderá ser efetuada por entidade especializada integrante da Administração Pública, mediante convênio com o COMAM.

Art. 10º - O COMAM, em decorrência da análise do EIA e do RIMA, poderá exigir do responsável a intervenção pública que se faça necessária na área do empreendimento.

Art. 11º - Os órgãos da administração municipal somente aprovarão projeto de implantação ou ampliação de atividades sujeitas à Licença Ambiental após a expedição da mesma, sob pena de responsabilidade administrativa e nulidade dos seus atos.

Art. 12º - No caso de empreendimentos de impactos sujeitos a financiamento ou incentivos governamentais, fica a aprovação de projetos habilitados aos benefícios vinculada ao licenciamento ambiental, nos termos desta lei.

Art. 13º - O suporte técnico e administrativo necessário ao cumprimento, pelo COMAM, das disposições desta Lei será prestado diretamente pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente.

§ 1º - Para a realização de atividades decorrentes do disposto nesta Lei e nos seus regulamentos, poderá a Secretaria Municipal de Meio Ambiente utilizar-se, além dos recursos

técnicos e humanos de que dispõe , do concurso de outros órgãos ou entidades públicas ou privadas, mediante convênios, contratos ou credenciamento de agentes.

§ 2º - Serão franqueadas, para fiscalizar o cumprimento dos dispositivos desta lei, a entrada e a permanência, pelo tempo que se fizer necessário, dos técnicos da Secretaria Municipal de Meio ambiente e dos agentes por ela credenciado, nos locais de construção ou ampliação de empreendimentos de impacto, os locais onde estejam instalados ou em funcionamento ou onde se pretenda instalá-los.

Art. 14º - VETADO
§1º - VETADO
§2º - VETADO
§3º - VETADO
§4º - VETADO
§5º - VETADO

Art. 15º - Não se aplicam ao disposto nos artigos anteriores as regras constantes nos arts. 12 e 13 da Lei nº 4.253, de 4 de dezembro de 1985, bem como em seu regulamento.

Art. 16º - Enquanto não conceituados em lei o parcelamento vinculado e as ZEIS, é a seguinte a redação do inciso IV do § 1º do art. 2º:

Art. 2º - .....

§ 1º .....

IV - parcelamentos de solo, exceto os propostos para conjuntos habitacionais cuja área parcelada seja inferior a 10.000 m2 (dez mil metros quadrados), com, pelo menos, uma das seguintes características:

a) destinação ao uso não residencial;

b) existência de lotes com áreas inferior 125 m2 (cento e vinte e cinco metros quadrados) ou superior a 10.000 m2 (dez mil metros quadrados);

c) existência de quarteirões com extensão superior a 200 m (duzentos metros);

Art. 17º - O inciso V do art.14 da Lei nº 4.253/85 passa a ter a seguinte redação:

" Art. 14 - .....

V - decidir sobre a outorga da Licença Ambiental, nos termos da lei específica, e, em segunda e última instância administrativa, sobre os casos que dependam de parecer da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, bem como, em todos os casos, decidir em grau de recurso quando da aplicação de penalidades previstas na legislação ambiental;"

Art. 18º - o inciso VI do art. 14 da lei nº 4.253/85 passa a ter a seguinte redação:

" Art. 14º - .....

VI - deliberar sobre a procedência de pedido escrito de impugnação, sob a ótica ambiental, de projetos sujeitos à Licença Ambiental - conforme disciplinado em legislação específica - ou a parecer prévio da Secretaria Municipal de Meio Ambiente."

Art. 19º - O inciso III do art. 18 da Lei nº 4.253/85 passa a ter a seguinte redação:

" Art. 18 - .....

III - o produto do reembolso do custo dos serviços prestados pela administração municipal aos requerentes de licença prevista na legislação ambiental;"

Art. 20º - VETADO

§ 1º - VETADO
§ 2º - VETADO

Art. 21º - Esta lei entra em vigor na data de sua publicação, revogando as disposições em contrário, especialmente o inciso VI do art. 3º e os arts. 5º e 6º da Lei 4.253/85.

Belo Horizonte, 17 de janeiro de 1997

Célio de Castro
Prefeito de Belo Horizonte

(Originária do Projeto de Lei nº 26/96 de autoria do Vereador Sávio Souza Cruz)

RAZÕES DO VETO PARCIAL

Ao examinar a proposição de lei 275/96 que "institui a licença ambiental e dá outras providências" sou compelido a negar sanção aos artigos 14 e 20 respectivamente da Proposição referenciada à qual oponho veto parcial pelas seguintes razões:

Conforme conclusão exarada em parecer da Secretaria Municipal de Atividades Urbanas - SMAU - à qual dou minha adesão, o art. 14 da Proposição em tela não é compatível com as penalidades previstas na nova Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo (LPOUS) e, se lograda sua chancela, ocorreria confusão na interpretação das leis em patente prejuízo para a sociedade. Como se deflui no artigo 69 da LPOUS, revela-se esta mais completa ao delegar ao poder legislativo aprovação de lei que detalhará as medidas a serem atendidas para amenizar as repercussões negativas provocadas pelas atividades que gerem algum tipo de incômodo.

Oponho veto também ao art. 20 posto que o mesmo é, de igual modo albergado no conteúdo de lei já existente - a LPOUS - mais completa e abrangente como assinalado, e que sobre o tema já normatiza o seu art. 67.

Observe-se por oportuno, que o projeto original da Proposição em exame foi elaborado em data anterior á aprovação da nova LPOUS, e, os dispositivos vetados se revelam com ela incompatível.

Por tais razões, deixo de acolher os dispositivos citados na Proposição de Lei 275/96, devolvendo-a ao esclarecido reexame da Egrégia Câmara Municipal.

Belo Horizonte, 17 de janeiro de 1997

Célio de Castro
Prefeito de Belo Horizonte

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE
CONSELHO MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE – COMAM
DELIBERAÇÃO NORMATIVA Nº. 25/99

Estabelece normas específicas para o licenciamento ambiental das atividades industriais relacionadas no Anexo Único da Deliberação Normativa nº 20/99, complementando a Deliberação Normativa nº 19/98

O Conselho Municipal do Meio Ambiente - **Comam**, no uso das atribuições que lhe confere o § 2º do art. 2º da Lei 7.772/97, regulamenta os procedimentos administrativos a que se refere a Lei 7277/97 de 17.01.97.

Delibera:

Art. 1º – A tipologia de atividades industriais, constantes do Anexo Único da Deliberação Normativa nº. 20/99, terá sua classificação de porte definida nesta Deliberação.

Art. 2º – O licenciamento ambiental das atividades industriais, seja prévio ou corretivo, observará os critérios de porte para definição dos procedimentos administrativos pertinentes.

Art. 3º – Os empreendimentos industriais classificados como de grande porte são aqueles com área utilizada superior a 6.000 m^2 e terão a primeira etapa de licenciamento efetuada mediante a apresentação de Estudos de Impacto Ambiental (Eia) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (Rima), segundo roteiro fornecido pela SMMA.

§ Único – O licenciamento ambiental a que se refere o *caput* deste Artigo será integral, sendo sua primeira etapa destinada à apreciação da Licença Prévia (LP).

Art. 4º – Os empreendimentos classificados como de médio porte são aqueles com área utilizada compreendida entre 1.200 e 6.000 m^2 e terão a primeira etapa de licenciamento efetuada mediante a apresentação de Relatório de Controle Ambiental (RCA) e Plano de Controle Ambiental (PCA), segundo roteiro fornecido pela SMMA.

§ 1º – O licenciamento a que se refere o *caput* deste Artigo será simplificado, sendo sua primeira etapa destinada à apreciação da Licença de Implantação (LI), prescindida, portanto, a expedição da Licença Prévia (LP).

§ 2º – Nas ZP's, ADE's de Interesse Ambiental, Áreas de Proteção Especial e outras áreas consideradas pela SMMA como de relevância ambiental, poderá, tendo em vista as análises ambientais prévias, ser exigida a apresentação de Eia/Rima para licenciamento de empreendimentos de médio porte a fim de possibilitar a apreciação da Licença Prévia.

Art. 5° – Os empreendimentos classificados como de pequeno porte são aqueles com área utilizada menor que 1.200 m^2 e terão uma única etapa de licenciamento efetuada mediante a apresentação do formulário de Informações Ambientais Básicas, bem como de outras informações que a SMMA julgar necessárias.

§ 1° – O licenciamento a que se refere o *caput* deste Artigo será sumário, sendo destinada à apreciação da Licença de Operação (LO), prescindida, portanto, a expedição da Licença Prévia (LP) e da Licença de Implantação (LI).

§ 2° – Nas ZP's, ADE's de Interesse Ambiental, Áreas de Proteção Especial e outras áreas consideradas pela SMMA como de relevância ambiental poderá, tendo em vista as análises ambientais prévias, ser exigida a apresentação de RCA/PCA, a fim de possibilitar a apreciação da Licença de Implantação (LI), previamente à expedição da Licença de Operação (LO).

Art. 6° – Os empreendimentos industriais que pretendam se implantar em locais previamente licenciados, tais como distritos industriais, etc., deverão ter o licenciamento ambiental simplificado, prescindindo-se da LP, sendo o instrumento de análise o Relatório de Controle Ambiental (RCA) e o Plano de Controle Ambiental (PCA), à exceção dos empreendimentos de pequeno porte para os quais se aplicará o disposto no Art. 5°.

Art. 7° – O licenciamento ambiental corretivo das atividades industriais, classificadas como de grande e de médio portes, será efetuado mediante a apresentação de Relatório de Controle Ambiental e Plano de Controle Ambiental (RCA/PCA) a fim de possibilitar a apreciação da Licença de Operação (LO).

Art. 8° – O licenciamento ambiental corretivo das atividades industriais, classificadas como de pequeno porte, será efetuado mediante a apresentação de formulário de Informações Ambientais Básicas, do projeto básico ou executivo relativo à intervenção, bem como de outras informações que a SMMA julgar necessárias.

Art. 9° – O licenciamento ambiental dos empreendimentos de grande e médio portes, seja em caráter prévio ou corretivo, será submetido à deliberação do Conselho Municipal de Meio Ambiente – Comam, através de processo administrativo devidamente instruído.

Art. 10 – O licenciamento ambiental dos empreendimentos de pequeno porte, seja prévio ou corretivo, será efetuado pela SMMA, por intermédio do Departamento de Controle Ambiental (DCAMA), ouvida a Comissão de Áreas Verdes (COMAV) quando for o caso, devendo o processo estar instruído pelo parecer técnico pertinente.

§ Único – Excetua-se ao disposto no *caput* deste artigo, os empreendimentos previstos para áreas classificadas como ZP-1 e ZPAM pela Lei Municipal n°. 7166/96, cujo licenciamento ambiental, seja prévio ou corretivo, será submetido à apreciação e deliberação do Conselho Municipal de Meio Ambiente – **Comam**, conforme Deliberação Normativa n°. 27/99.

Art. 11 – Independentemente do porte e da tipologia, o licenciamento das atividades industriais deverá contemplar todos aspectos referentes ao processo industrial, destacando-se, dentre outros:

I. Ruídos e vibrações;

II. Emissões atmosféricas;
III. Efluentes líquidos sanitários, industriais e sistema de águas pluviais;
IV. Resíduos sólidos;
V. Uso dos recursos naturais;
VI. Área para carga e descarga;
VII. Medidas de segurança.

§ Único – As fontes potencialmente poluidoras serão tratadas através de levantamentos e medições específicas apresentadas pelo empreendedor a fim de permitir a proposição de medidas destinadas a reduzir e controlar a geração de poluição, bem como a reutilizar e reciclar efluentes e resíduos, visando seu enquadramento dentro dos padrões legalmente definidos.

Art. 12 – Aplicam-se os demais procedimentos administrativos previstos na Deliberação Normativa nº 19/98 para a instrução do processo de licenciamento ambiental relativo às atividades industriais.

Art. 13 – Esta deliberação entra em vigor na data de sua publicação, revogando as disposições em contrário.

Belo Horizonte, 23 de Setembro de 1999

Juarez Amorim
Conselho Municipal do Meio Ambiente
Presidente

Publicada no DOM em 29/12/99

ANEXO 5.3

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE
CONSELHO MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE – COMAM
DELIBERAÇÃO NORMATIVA N.º 32 /00

O Conselho Municipal do Meio Ambiente no uso de suas atribuições legais inclui os estabelecimentos revendedores de combustíveis veiculares na relação de empreendimentos de impacto e dá outras providências.

Delibera:

Art. 1º – Ficam incluídos na relação de empreendimentos de impacto, a que se refere o art. 2º, § 1º, inciso V, da Lei n.º 7.277/97, os postos de abastecimento de veículos e de revenda de combustíveis.

§ 1º – A localização, construção, instalação, modificação, ampliação e operação da atividade referida neste artigo dependerão do prévio licenciamento ambiental junto à SMMA, através do Departamento de Controle Ambiental, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis.

§ 2º – Em concordância com o Art. 7º da Lei n.º 7.277/97, ficam, desde já, convocados ao licenciamento ambiental corretivo todos os estabelecimentos implantados no Município, os quais deverão atender à determinação de prazo a ser estipulada pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente – SMMA.

§ 3º – Das decisões da SMMA caberá recurso ao **COMAM**.

Art. 2º – A SMMA somente apreciará o expediente que já tenha tido a conformidade legal do estabelecimento, devidamente constatada e atestada pela Secretaria Municipal de Atividades Urbanas – SMAU.

§ Único – Em caso de modificação e ampliação do estabelecimento, a SMAU deverá avaliar se o projeto atende à legislação pertinente.

Art. 3º – O licenciamento ambiental prévio da atividade será procedido em duas etapas seqüenciais destinadas, respectivamente, à apreciação do requerimento da Licença de Implantação (LI) e da Licença de Operação (LO).

Art. 4º – Para a análise da LI referente aos estabelecimentos em apreço, o empreendedor deverá fornecer, no mínimo, a seguinte documentação à SMMA:

I. O formulário de caracterização de SASCs – Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis (conforme formulário específico fornecido pela SMMA), devidamente preenchido e assinado pelo proprietário do estabelecimento ou seu representante legal.

II. Identificação das empresas que fornecem combustíveis ao estabelecimento.

III. Caracterização do ambiente de vizinhança, através de mapa em escala adequada e abrangendo um raio de 100 m a partir de seu perímetro, identificando:

a) Ruas com galeria de drenagem de águas pluviais e/ou fluviais;
b) Galerias de esgoto ou de serviços em geral (rede elétrica, de telecomunicações e água);
c) Fossas sépticas;

d) Edifícios multifamiliares com ou sem garagem subterrânea (especificar o número de andares);
e) Favelas;
f) Edifícios de escritórios comerciais (especificar o número de andares);
g) Garagens ou túneis, construídos no subsolo;
h) Casas de espetáculos ou templos;
i) Hospitais, postos de saúde, clínicas ;
j) Metrô;
k) Atividades industriais de risco;
l) Corpos superficiais de água (citar o nome e o tipo de corpo d'água);
m) Cisternas e/ou poços na zona saturada ou não saturada, freática ou aerada;
n) Postos de gasolina;
o) Escolas;
p) Creches.

IV. Identificação da profundidade do nível d'água subsuperficial através de sondagem ou método de detecção compatível, se não houver risco dessa investigação propiciar a contaminação do lençol freático tendo em vista a existência anterior de fontes poluidoras similares.

V. Anteprojeto ou projeto das instalações e equipamentos do estabelecimento, cujas especificações devem estar em conformidade com o estipulado no artigo 10 desta Deliberação, sem prejuízo das demais normas aplicáveis, devendo conter, dentre outros:

a) Localização e especificação dos diversos componentes destinados à armazenagem e distribuição de combustíveis;
b) Especificação dos mecanismos para prevenção contra corrosão, transbordamento e derramamento de combustíveis;
c) Identificação das áreas permeáveis e das áreas impermeáveis;
d) Rede de esgotamento sanitário;
e) Rede de drenagem superficial e subterrânea;
f) Localização e especificação dos poços de abastecimento de água, se for o caso;
g) Localização e especificação dos poços de monitoramento de gases, se for o caso;
h) Localização e especificação das futuras atividades propostas .

§ 1º – Caso o terreno proposto já tenha abrigado atividades similares no passado, o empreendedor deverá efetuar investigações, em conformidade com o Anexo 1, a fim de verificar se há contaminação e se a análise de risco ambiental indica a necessidade de intervenções destinadas à remediação.

§ 2º – Para análise da LO, a partir de seu requerimento, o estabelecimento será submetido à vistoria a fim de verificar se a implantação do projeto se deu em conformidade com o aprovado quando da concessão da LI, sendo requerida ainda a apresentação de cópia autenticada do CAI – Certificado de Aprovação de Instalação, emitido pelo órgão regional do MTb – Ministério do Trabalho em atendimento às Normas Regulamentadoras.

Art. 5º – Para fins do licenciamento ambiental corretivo, o empreendedor deverá atender aos requisitos ora relacionados:

I. Documentos especificados nos incisos I, II e III do Art. 4º.

II. Apresentação dos laudos de estanqueidade do sistema de armazenagem e de distribuição de combustíveis.

III. Projeto de investigação ambiental, em conformidade com o previsto no Anexo 1.

IV. *Lay-out* ou projeto das instalações existentes no estabelecimento, contendo as informações constantes do Artigo 4º, inciso V.

§ 1º – Em caso de sistemas não estanques, o empreendedor deve proceder com a retirada imediata do produto (combustível) e com o lacre de tais instalações a fim de que seja cessada a fonte de contaminação.

§ 2º – Somente estarão dispensadas da realização de laudos de estanqueidade aquelas instalações comprovadamente desativadas.

§ 3º – As fontes potencialmente poluidoras que comprovadamente possuírem, desde o início de sua operação, equipamentos de proteção contra transbordamento e derramamento poderão, a critério da SMMA, ser dispensadas de efetuar investigação ambiental.

§ 4º – Para análise da LO em caráter corretivo, o estabelecimento será submetido à vistoria a fim de verificar se as adequações requeridas pela SMMA, em concordância com o previsto nesta Deliberação, foram devidamente implantadas ou estão vinculadas como condicionante do licenciamento, devendo o empreendedor apresentar ainda a cópia autenticada do CAI –Certificado de Aprovação de Instalação, emitido pelo órgão regional do MTb – Ministério do Trabalho em atendimento às Normas Regulamentadoras.

Art. 6º – O projeto de investigação ambiental deverá conter as informações constantes do Anexo 1 desta Deliberação.

§ 1º – A partir da aprovação da SMMA, os responsáveis pelo empreendimento deverão comunicar formalmente o início da execução dos estudos e das intervenções para que esta possa proceder ao seu acompanhamento.

§ 2º – Em caso de necessidade de remediação ambiental, os responsáveis pelo empreendimento deverão implementar as medidas corretivas cabíveis que deverão ser aprovadas pelo **COMAM.**

§ 3º – A SMMA apresentará ao COMAM, anualmente, relatórios informativos referentes ao andamento e ao encerramento dos processos de Remediação Ambiental.

Art. 7º – Os estabelecimentos deverão apresentar a comprovação da destinação ambientalmente segura para os resíduos sólidos gerados, que devem ser segregados de acordo com sua tipologia – tais como óleo utilizado, peças resultantes da troca de insumos e componentes de veículos, embalagens descartadas, resíduos de limpeza dos tanques de combustível, dentre outros .

Art. 8º – O licenciamento ambiental poderá requerer a lavratura de Termo de Compromisso de Ajustamento Legal de Conduta, conforme legislação federal pertinente. quando forem necessárias intervenções de médio e longo prazos referentes à adequação do SASC às especificações ora normatizadas, bem como às intervenções para investigação ou remediação ambiental.

§ Único – O Termo referido no *caput* deverá ser assinado pelos responsáveis pelo empreendimento, podendo envolver o operador do estabelecimento, o proprietário do SASC e, as distribuidoras que fornecem combustível ao estabelecimento.

Art. 9º – O descumprimento e/ou não atendimento às determinações da SMMA poderá resultar em indeferimento do requerimento de licença ambiental, que será comunicado aos órgãos competentes para que sejam tomadas as providências legais cabíveis.

Art. 10 – Os estabelecimentos que disponham de SASCs deverão atender aos

seguintes requisitos mínimos em relação ao padrão de segurança dos equipamentos ou a outros equipamentos tecnologicamente mais avançados :

a) Descargas seladas com câmaras de contenção de descargas;
b) Câmaras de acesso à boca de visita dos tanques de armazenagem de combustíveis;
c) Câmaras de contenção sob as unidades abastecedoras;
d) Sistema de armazenagem de combustível constituído por parede dupla e por material não corrosivo;
e) Sistema de distribuição de combustível constituído por material não corrosivo, impermeável e sem emendas;
f) Válvulas de proteção contra transbordamento;
g) Válvulas de retenção junto às bombas de abastecimento;
h) Sistema de monitoramento de estoque de combustível e sistema automático constituído por sensores e alarmes para monitoramento intersticial;
i) Piso totalmente impermeabilizado nas áreas de abastecimento e descarga de combustíveis, com canaleta de contenção na projeção da cobertura de bombas, devidamente interligada à caixa separadora;
j) Caixas separadoras de óleos e graxas, quando for exercida a atividade de lavagem de veículos, devidamente conectada à rede oficial coletora de esgotos – comprovada através de laudo emitido pela concessionária dos serviços de saneamento;
k) Vala seca totalmente impermeabilizada para troca de óleo, dotada de equipamento de sucção;
l) Equipamentos de segurança para prevenção e combate a acidentes, de acordo com as normas dos órgãos competentes.

§ Único – Em caso de sistema de armazenagem aéreo, deverão ser atendidos os requisitos técnicos a serem indicados pela SMMA.

Art. 11 – O prazo para adequação dos SASCs ao padrão mínimo estabelecido no artigo anterior será, no máximo, de quinze anos, de acordo com os critérios ora estabelecidos:

I. Para os SASCs com idade comprovadamente inferior a quinze anos, o prazo de substituição será estabelecido pela SMMA com base na classificação do estabelecimento nos termos da norma NBR n.º 13.786/97 da ABNT, ou a que substituí-la. na análise do tipo de material das instalações e equipamentos existentes, bem como na análise de outros fatores que possam comprometer a vida útil dos equipamentos.

II. Para os SASCs com idade comprovadamente superior a quinze anos ou que não tiverem comprovação de sua idade, o prazo de substituição será de até dois anos a partir da oficialização da SMMA para que o estabelecimento se submeta ao licenciamento ambiental corretivo.

§ **1º** – O estabelecimento que obtiver prazo para adequação dos SASCs deverá dispor dos componentes mínimos exigíveis para a sua classe, tal como definido pela norma NBR n.º 13.786/97 da ABNT.

§ 2º – Durante o transcurso do prazo concedido para adequação dos SASCs, ou no caso de controle manual de estoques de combustíveis, os estabelecimentos deverão efetuar, no mínimo, testes anuais de estanqueidade ou ainda efetuá-los sempre que esta providência for determinada pela SMMA.

Art. 12 – Os testes de estanqueidade do sistema de armazenagem e de distribuição de combustíveis deverão ser executados de acordo com a norma n.º NBR 13.784/97 da

ABNT, ou a que substituí-la, acompanhados da específica Anotação da Responsabilidade Técnica dos serviços junto ao CREA MG, não sendo aceitáveis documentos com data superior a 30 (trinta) dias após a realização dos testes ou que não constem dos procedimentos adotados para execução dos testes.

§ 1° – Em caso de sistemas não estanques, o proprietário ou operador do estabelecimento deve comunicar o fato imediatamente à SMMA, além de adotar as medidas cabíveis de caráter emergencial para controle de acidentes, se for o caso.

§ 2° – Em caso de sistema não estanque, o proprietário deverá proceder com a retirada imediata do produto (combustível) e com o lacre de tais instalações a fim de que seja cessada a fonte de contaminação.

Art. 13 – Os estabelecimentos deverão dispor de manual de operação dos SASCs, o que deverá conter os procedimentos de manutenção, prevenção e controle de acidentes, a serem adotados para evitar a ocorrência de eventos que possam comprometer a segurança da população e do meio ambiente.

Art. 14 – Em caso de quaisquer acidentes ou vazamentos, os responsáveis pelo empreendimento, seus operadores, o proprietário do SASC e as distribuidoras que fornecem combustível ao estabelecimento responderão solidariamente pela adoção das medidas para o controle da situação de emergência, bem como para o saneamento das áreas impactadas.

§ 1° – Os responsáveis pelo empreendimento deverão comunicar a ocorrência do acidente ou vazamento à SMMA, num prazo máximo de 24 h (vinte e quatro horas)

§ 2° – Independentemente da comunicação de ocorrência de acidentes ou vazamentos, o operador do estabelecimento, o proprietário do SASC e as distribuidoras que fornecem combustível ao estabelecimento deverão adotar as medidas emergenciais requeridas pelo evento, de forma a minimizar os riscos e os impactos às pessoas e ao meio ambiente.

§ 3° – A remediação ambiental das áreas impactadas por acidente com o SASC deverá seguir o procedimento disposto no Artigo 6° desta deliberação.

Art. 15 – Os estabelecimentos que dispõem de SASCs deverão formar ou contratar Equipe de Pronto Atendimento a Emergências – EPAE, a qual deverá ser treinada e habilitada para atuar em situações de emergência, além de dispor do conjunto mínimo de equipamentos relacionados no Anexo 2, o que não os dispensa da responsabilidade de dispor de outros meios que se façam necessários para eliminação dos riscos à segurança da população e do meio ambiente.

§ 1° – A EPAE – deverá ser composta, no mínimo, por um engenheiro de segurança bem como por um técnico de segurança e por três trabalhadores qualificados.

§ 2° – A EPAE – deverá ser adequadamente treinada e habilitada a operar todos os equipamentos necessários, bem como possuir conhecimento técnico dos SASCs, dos riscos a que estarão expostos, dos procedimentos de segurança a serem adotados durante sua atuação, além de treinamento de Combate a Incêndios.

§ 3° – A EPAE – deverá ter sua anotação de responsabilidade técnica junto ao CREA-MG.

§ 4° – A EPAE – deverá contar com uma ou mais linhas de telefone de forma que possa ser acionada a qualquer momento, durante 24 horas do dia, inclusive domingos e feriados.

§ 5° – Os estabelecimentos que dispõem de SASCs deverão ter afixado em suas dependências, em local visível ao público, documento comprobatório da EPAE, constando das informações previstas no formulário específico fornecido pela SMMA .

Art. 16 – O projeto executivo completo das instalações do posto, o manual de operação dos SASCs, bem como os comprovantes de limpeza, de destinação de resíduos sólidos e dos testes de estanqueidade deverão estar permanentemente disponíveis e acessíveis nas instalações do posto de abastecimento de veículos, juntamente com a licença ambiental concedida pela SMMA e com o Alvará de Localização e Funcionamento expedido pela PBH.

§ Único – As diretrizes e critérios técnicos ora normatizados se aplicam a todas as atividades que disponham de sistemas de armazenagem de combustíveis.

Esta Deliberação Normativa entra em vigor na data de sua publicação, revogando as disposições em contrário.

Belo Horizonte, 13 de setembro de 2000

Paulo Maciel Júnior
Secretário Municipal Adjunto de Meio Ambiente
Presidente Substituto do Conselho Municipal de Meio Ambiente

Anexo 1 - DN n.º 32/2000 -
INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL E ANÁLISE DE RISCO – PARTE I

Este estudo deverá ser executado em duas etapas seqüenciais, sendo que cada etapa deverá ter a aprovação prévia da SMMA, tanto para a passagem a uma etapa seguinte da investigação, como para o início da execução dos serviços. A referência metodológica a ser adotada é a Norma ASTM 1912 (EUA) ou similar nacional.

I. Investigação Ambiental Preliminar

1. Caracterização do estabelecimento (identificação, localização e caracterização da área ocupada) e dos equipamentos e instalações (capacidade, características técnicas, condições, tipos, materiais de fabricação e acabamento, idade).

2. Laudo técnico referente à medição e avaliação quanto à presença de hidrocarbonetos em tubulações e redes (pluvial, esgoto, água, energia e telecomunicações, etc.) existentes em torno do empreendimento, num raio de 100 metros.

3. Verificação quanto à presença de hidrocarbonetos em cursos d'água ou em poços existentes na vizinhança imediata.

4. Histórico de vazamentos/acidentes, reformas e resultados de sindicâncias na vizinhança.

5. Planta topográfica em escala compatível, identificando curvas de nível com intervalos de um metro no máximo.

6. Dados geológicos e hidrogeológicos regionais e locais (preliminares), com uma avaliação hidrogeológica da área indicando a direção e o sentido do fluxo da água subsuperficial e subterrânea.

7. Dados de agressividade do solo (tipo de solo, teor de umidade, estabilidade, resistividade, pH, presença de sulfetos).

8. Identificação da malha de investigação para verificação da contaminação dos solos superficiais e do manto de intemperização rochosa, com realização de pontos de *soil gas survey* (pesquisa de vapor no solo) em número suficiente, por toda a área do estabelecimento com medições do teor de compostos orgânicos voláteis (VOC) no solo entre 0,6 e 1,5 m de profundidade.

9. Identificação de poços de captação de água do entorno imediato do estabelecimento em relação: ao endereço, à profundidade, descrição do poço (paredes, fundo, tipo de solo e rocha), vazão captada, uso a que se destina a água, nome do responsável pela captação, etc..

10. Identificação de fontes poluidoras potenciais primárias e secundárias, vias potenciais de exposição e mecanismos de transporte de contaminantes e receptores humanos e ambientais sensíveis aos produtos (inclusive considerando instalações circunvizinhas que possam constituir-se em vias preferenciais de migração de contaminantes).

11. Identificação dos procedimentos metodológicos e operacionais adotados em campo e em laboratório, da equipe técnica responsável, devidamente registrada pela anotação de responsabilidade técnica junto ao CREA MG.

12. Caracterização da extensão da contaminação utilizando-se técnicas adequadas e considerando-se o tipo de contaminante, as condições do meio e as limitações técnicas do local tais como solo, edificações, espaço físico para instalação de equipamentos, dentre outras.

13. Cronograma para a execução da investigação ambiental preliminar.

Anexo 1 - DN n.º 32/2000
INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL E ANÁLISE DE RISCO – PARTE II

II. Investigação Ambiental com Análise de Risco

Dependendo dos resultados da pesquisa de vapor no solo, poderá ser necessário coletar dados adicionais para o aprofundamento dos estudos objetivando à completa avaliação da extensão da contaminação, de seus riscos, devendo ser executadas as atividades e atendidos os requisitos a seguir descritos, entre outros.

A abrangência do estudo deve ser suficiente para a delimitação adequada da extensão da contaminação no que tange à fase livre, fase adsorvida e fase dissolvida.

A análise de riscos deverá ser efetuada aos moldes da metodologia RBCA (*Risk based corrective action*) desenvolvida pela ASTM – 1739/95^{e1}, ou sua revisão mais recente, bem como pela norma provisória ASTM PS-104/98. Esta análise deve contemplar, dentre outros:

1. Identificação, em planta na escala adequada, dos poços de captação de água (cisternas, poços rasos ou artesianos) existentes na área de abrangência da investigação, bem como do curso d'água mais próximo ao posto de combustível, se tecnicamente justificável.

2. Laudos laboratoriais com análise qualitativa e quantitativa da água em todos os poços de captação existentes, bem como do curso d'água mais próximo, abordando os parâmetros PAH e BTEX de acordo com os combustíveis armazenados, com a devida referência ao padrão legal adotado e normas nacionais ou internacionais.

3. Execução de sondagens para a coleta de amostras com a finalidade de elaboração de laudos laboratoriais das amostras de solo continuadas, constando a composição quantitativa e qualitativa dos parâmetros PAH e BTEX . Esta avaliação deverá ser efetuada por laboratório idôneo. Os laudos laboratoriais deverão se constituir de documentos originais em anexo ao relatório, ressaltando-se a necessidade de apresentação dos resultados do QA/QC (sistema de controle de qualidade) e cadeia de custódia, como documentação mínima de controle.

4. Execução dos estudos de análise de risco, apresentando as conclusões e recomendações para a remediação do local, compreendendo a avaliação de riscos humanos e ambientais e a identificação das intervenções cabíveis e previstas para a remediação (técnicas, atenuação natural, controles), com os respectivos cronogramas.

   O estudo acima referido deve ser conclusivo quanto à proposição de remediação ambiental, que deverá ser concebida e justificada a partir da análise de risco ambiental do cenário atual e futuro, assim determinada em função dos níveis de contaminação detectados, das condições de uso e ocupação na vizinhança e do uso dos recursos naturais superficiais e subterrâneos.

   Os resultados da investigação ambiental devem consistir de documentação técnica especializada, devendo constar obrigatoriamente da específica anotação de responsabilidade técnica junto ao CREA-MG.

Anexo 2 - DN n.º 32 /2000

CONJUNTO MÍNIMO DE EQUIPAMENTOS PARA A EQUIPE DE PRONTO ATENDIMENTO A EMERGÊNCIAS – EPAE

Item	Descrição	Especificação Recomendada	Quantidade
1	Exaustor/soprador, com motor a prova de explosão, dotado de flanges para conexão de dutos de ambos os lados e com duto de lona reforçado	Mínima: ½ HP	01 unidade
2	Mangueira flexível	12"	30 metros
4	Bomba centrífuga autoescorvante	10 m /hora	01 unidade
5	Kit de mangueiras c/ engate rápido	2"	15 metros
6	Balde com alça reforçada	20 litros	01 unidade
7	Tambor (tampa tipo graxa) não metálico	Cap. 200 litros	01 unidade
8	Tanque auto sustentável de lona anti-inflamável, para armazenamento de produto combustível	Cap. 1000 litros	01 unidade
9	Manta absorvente oleofilica	0,8 litros/peça	50 peças
10	Pó absorvente oleofílico	Tipo serragem	14 Kg
11	Material adequado para sinalização e isolamento, em quantidade suficiente	-	-
12	Equipamentos de proteção individual, em atendimento às normas pertinentes do Ministério do Trabalho.	Luvas impermeáveis e não degradáveis pelos produtos combustíveis; botas com solado não isolante e antiderrapante; capacete e óculos de proteção; colete com faixas fosforescentes; uniformes de algodão.	03 conjuntos
13	Extintor pó químico pressurizado	Cilindro cap. 12 Kg	02 unidades
15	Lanterna a prova de explosão	-	02 unidades
16	Explosímetro/oxímetro (especificação)	Tipo Minigás	02 unidades
17	Extensão para tomada de energia a prova de explosão	-	100 metros
18	Kit de primeiros socorros	-	01 unidade
19	Ferramentas pesadas adequadas para áreas classificadas	-	01 conjunto
20	Ferramentas leves adequadas para áreas classificadas	-	01 conjunto
21	Trado manual e acessórios	8"	01 conjunto
22	Veículo adequado para transporte do conjunto básico de equipamentos	-	01
23	Caminhão tanque para retirada de produto(s) e/ou esvaziamento de tanques(s) que apresentem problemas de vazamento	Mín. 15.000 litros	01