ANDRÉ VIRMOND LIMA BITTENCOURT

TJ034

SÓLIDOS HIDROTRANSPORTADOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVAI:

**Aplicação de balanços hidrogeoquímicos na
compreensão da evolução dos processos da
dinâmica externa.**

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto
de Geociências da Universidade de São Paulo.

SÃO PAULO
1978

ANDRÉ VIRMOND LIMA BITTENCOURT

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004628

SÓLIDOS HIDROTRANSPORTADOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVAI:

**Aplicação de balanços hidrogeoquímicos na
compreensão da evolução dos processos da
dinâmica externa.**

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto
de Geociências da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. ADOLPHO JOSÉ MELFI

SÃO PAULO

1978

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO	1
2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO	6
2.1. Clima	6
2.2. Geologia	12
2.3. Relevo	19
2.4. Solos e Vegetação	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1. Área de Estudo	24
3.1.1. A Bacia do Rio Ivaí	24
3.1.2. Sub-Bacias do Rio Ivaí	26
3.1.3. Outros Locais	34
3.2. Determinação Hidráulico-Sedimentológica	38
3.2.1. Fluviometria	38
3.2.1.1. Dados de Campo	38
3.2.1.2. Dados de Escritório	39
3.2.2. Sedimentometria	40
3.2.2.1. Dados de Campo	40
3.2.2.2. Dados de Laboratório	40
3.2.2.3. Dados de Escritório	41

3.3. Determinações Químicas nas Águas	41
3.3.1. Coleta das Amostras	41
3.3.2. Análise Laboratorial das Amostras	42
3.3.3. Cálculo de Escritório	42
4. MOVIMENTO DE SÓLIDOS	44
4.1. Fase Insolubilizada	48
4.1.1. Formação	48
4.1.2. Quantificação	52
4.1.2.1. Medidas Fora das Correntes de Água	53
4.1.2.2. Medidas Dentro das Correntes de Água	57
4.2. Fase Dissolvida	58
4.2.1. Formação	58
4.2.2. Quantificação	59
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
5.1. Estudo da Fase Insolubilizada na Bacia Hidrográfica do Ivaí	62
5.1.1. Aspectos Hidráulico-Sedimentológicos	65
5.2. Estudo da Fase Dissolvida na Bacia Hidrográfica do Ivaí	90
5.2.1. Águas Relacionadas à Formação Serra Geral	90
5.2.1.1. Mobilidade Relativa dos Elementos	119
5.2.1.2. Equilíbrios Geoquímicos	123
5.2.2. Águas Relacionadas às Formações Suprabasálticas	135

5.2.2.1. Caracterização das Espécies Dissolvidas	135
5.2.3. Variações Sazonais nos Rios da Bacia do Ivaí	150
5.2.4. Influência das Chuvas e de Fontes de Poluição	158
5.3. Regionalização dos Dados Obtidos	161
5.3.1. Transporte Global de Sólidos na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí	161
5.3.1.1. Sólidos em Suspensão	161
5.3.1.2. Sólidos Dissolvidos	165
5.3.1.3. Sólidos Totais Hidrotransportados	178
5.3.1.4. Transporte de Sólidos do Rio Ivaí em Relação aos Rios do Mundo	178
5.3.2. Transporte de Sólidos em Terras Regionais	178
5.3.2.1. Sólidos em Suspensão	178
5.3.2.2. Sólidos Dissolvidos	181
5.4. Balanço Erosão – Alteração em Basaltos	186
6. CONCLUSÕES GERAIS	190
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	192

TABELAS

01	Distribuição superficial dos compartimentos geológicos da bacia hidrográfica do Rio Ivaí	25
02	Distribuição superficial de intervalos de pendentes topográficas dentro da bacia do Córrego Jacutinga.	28
03	Distribuição superficial de intervalos de pendentes topográficas dentro da bacia do Ribeirão do Rato.	31
04	Distribuição superficial de intervalos de pendentes topográficas dentro da bacia do Córrego Horácio.	33
05	Distribuição superficial de intervalos de pendentes topográficas dentro da bacia do Córrego Vinete e Um.	36
06	Perdas de solo por erosão relacionadas a diferentes tipos de solo. pluviosidade média de 1.300 mm e de declives entre 8,5 e 12,8% (IAC).	55
07	Perdas de solo por erosão, relativas a diferentes gradientes topográficos e culturas. (1) IAC - algodão; (2) - milho.	55
08	Perdas de solo por erosão, relativas a diferentes comprimentos de rampa, sendo os mesmos tipos de solo. (1) IAC - (2) USDA - (3) IAPAR.	56
09	Perdas de solo por erosão por efeito do tipo de cultura em determinado tipo de solo. pluviosidade média de 1.300 mm e declividade entre 8,5 e 12,8%(IAC)	56

- 10 Perdas de solo por erosão por efeito da cobertura vegetal em determinado tipo de solo (IAC). 56
- 11 Dados fluvio-sedimentométricos trimestrais médios levantados em 1975, 1976 e 1977 para a estação de medidas do "NOVO PORTO TAQUARA". 66
- 12 Dados fluvio-pluvio-sedimentométricos trimestrais médios levantados em 1975, 1976 e 1977 na estação de medidas do "SÍTIO OURO VERDE" no CÔRREGO JACUTINGA. 70
- 13 Dados fluvio-sedimentométricos mensais médios levantados em 1977 e 1978 no rio ARROIO GUAÇU. 74
- 14 Dados fluvio-sedimentométricos mensais médios levantados em 1977 e 1978 no Rio Itabó. 76
- 15 Dados fluvio-pluvio-sedimentométricos trimestrais médios levantados em 1975, 1976 e 1977 na estação de medidas do "BARRACO DE ZINCO" no CÔRREGO HORÁCIO. 79
- 16 Dados fluvio-pluvio-sedimentométricos trimestrais médios levantados em 1975, 1976 e 1977, na estação de medidas da "FAZENDA VITÓRIA" no CÔRREGO VINTE E UM. 80
- 17 Dados fluvio-pluvio-sedimentométricos trimestrais médios levantados em 1975, 1976 e 1977, na estação de medidas do "POÇO ARTESIANO" no RIBEIRÃO DO RATO. 81
- 18 Parâmetros químicos de águas coletadas na formação serrá geral no período compreendido entre abril de 1976 e julho de 1977. As espécies dissolvidas são apresentadas em mg/l. 92
- 19 Análises químicas de águas do CÔRREGO JACUTINGA, coletadas em 1974, 1975, 1976 e 1977, no SÍTIO OURO VERDE. As espécies dissolvidas são apresentadas em mg/l. 96

- 20 Percentagem em peso e proporções moleculares dos óxidos dominantes no basalto do CÔRREGO JACUTINGA. 131
- 21 Proporções moleculares dos óxidos distribuídos nos minerais Fundamentais, representando uma composição normativa teórica dos basaltos do CÔRREGO JACUTINGA. 131
- 22 Parâmetros químicos de amostras de águas coletadas em sedimentos supra-basálticos relacionados à Formação Caiuã, no período compreendido entre julho de 1976 e abril de 1977. As espécies dissolvidas são dadas em mg/l. 136
- 23 Análises químicas de águas do CÔRREGO HORÁCIO, coletadas em 1976 e 1977 no "BARRACO DE ZINCO". 138
- 24 Análises químicas de águas do CÔRREGO VINTE E UM, cole^utadas em 1974, 1975, 1976 e 1977, na "FAZENDA VITÓRIA". 139
- 25 Análises químicas de águas do RIBEIRÃO DO RATO, coleta^udas em 1974, 1975, 1976 e 1977 no "POÇO ARTESIANO". 140
- 26 Valores trimestrais médios e médias anuais relativas a dados de análises químicas de águas do CÔRREGO HORÁCIO, coletadas em 1976 e 1977. 151
- 27 Valores trimestrais médios e médias anuais relativas a dados de análises químicas de águas do CÔRREGO VINTE e UM, coletadas em 1974, 1975, 1976 e 1977. 152
- 28 Valores trimestrais médios e médias anuais relativas a dados de análises químicas de águas do RIBEIRÃO DO RATO, coletadas em 1974, 1975, 1976 e 1977. As espécies dissolvidas são apresentadas em mg/l. 153
- 29 Valores trimestrais médios e médias anuais relativas a dados de análises químicas de águas do CÔRREGO JACUTINu

GA, coletadas em 1974, 1975, 1976 e 1977.

154

- 30 Estimativas sobre a concentração de sólidos em suspensão de rios que drenam a SEQUÊNCIA PALEOZOICA, sobre a vazão sólida dos mesmos e a tabulação dos valores empregados nos cálculos. Os valores com asterísticos(*) foram estimados, os outros dados sobre a SEQUÊNCIA PALEOZOICA foram obtidos no rio ALONSO na estação fluviométrica de PORTO MONTEIRO. Os dados sobre a formação Serra Geral, são aqueles levantados no Córrego JACUTINGA. A média dos valores dos Córregos HORÁCIO, VINTE E UM e RIBEIRÃO DO RATO, representa a FORMAÇÃO CAIUÁ. 163
- 31 Estimativas de vazões sólidas das espécies dissolvidas na bacia hidrográfica do rio Ivaí, para os rios sobre basaltos da formação Serra Geral. Nesta tabela foi tomada por base a composição química média do Córrego JACUTINGA e sua descarga líquida específica de 24 l/s/Km^2 . Foi considerada a área de 18.570 Km^2 para a formação aflorante. 166
- 32 Estimativas de vazões sólidas das espécies dissolvidas na bacia hidrográfica do rio Ivaí, para os cursos de água sobre basaltos da formação Serra Geral. Nesta tabela foi tomada por base a composição química média dos rios sobre basaltos constantes da TABELA 21, e a descarga líquida específica do Córrego JACUTINGA, de 24 l/s/Km^2 . 167
- 33 Estimativas das vazões sólidas das espécies dissolvidas na bacia hidrográfica do Ivaí, para a média dos cursos de água sobre os depósitos supra-basálticos, formação Caiuá. Foi tomada por base a média ponderada das composições químicas dos Córregos HORÁCIO, VINTE E UM e RIBEIRÃO DO RATO. Ao último foi dado um peso 50% inferior ao dos outros Córregos. 168

- 34 Estimativas de vazões sólidas em espécies dissolvidas na bacia hidrográfica do Ivaí, para os rios que drenam a SEQUÊNCIA PALEOZÓICA. Foi tomada por base a composição média de 4 análises e a vazão líquida específica média do rio ALONSO em PORTO MONTEIRO em 1974-1975. 169
- 35a. Estimativas das concentrações em espécies dissolvidas no rio Ivaí no NOVO PORTO TAQUARA, calculadas a partir dos dados de composição química e vazões líquidas específicas levantadas nos três compartimentos geológicos da bacia hidrográfica. Para a formação Serra Geral, foi considerada a média do Córrego Jacutinga (TABELA 29). 170
- 35b. Estimativas das concentrações em espécies dissolvidas no rio Ivaí no NOVO PORTO TAQUARA, calculadas a partir dos dados de composição química e vazões líquidas específicas levantados nos três compartimentos geológicos da bacia hidrográfica. Para a formação Serra Geral, foi considerada a média dos rios sobre basaltos constantes da TABELA 18. 171
- 36 Análises químicas de águas do rio Ivaí, coletadas em 1974, 1975, 1976 e 1977 no NOVO PORTO TAQUARA. (mg/l). 173
- 37 Valores trimestrais médios e médias anuais relativas a dados de análises químicas de águas do rio Ivaí, coletadas em 1974, 1975, 1976 e 1977 no NOVO PORTO TAQUARA. 174
- 38 Estimativas das concentrações em espécies dissolvidas no rio Ivaí no NOVO PORTO TAQUARA, a partir de análises de amostras coletadas no local. A vazão líquida específica média determinada no local tem um valor de $20,79 \text{ l/s/Km}^2$ no período de estudo. Foi considerada a área efetiva de 33.760 Km^2 . 176
- 39 Estimativas de vazões sólidas e composição química das

espécies dissolvidas na foz do rio Ivaí. A descarga líquida específica estimada e considerada nos cálculos é de $20,31 \text{ l/s/Km}^2$. A vazão sólida dissolvida específica foi calculada pela soma do aporte sólido dissolvido do NOVO PORTO TAQUARA com o devido à área restante do CAIUÁ dividido pelos 35.914 Km^2 da bacia do Ivaí.

177

- 40 Aporte de sólidos dissolvidos do rio Ivaí em relação ao montante dos rios do continente sulamericano e do mundo. (MACKENZIE E GARRELS (1966) - GIBBS (1972).

179

- 41 Perdas anuais de espécies dissolvidas, sofridas pelas formações SERRA GERAL e CAIUÁ no Estado do Paraná.

182

- 42 Composições químicas de bacias representando áreas cobertas por vegetação natural e totalmente desprovidas de florestas. percentuais de variação na composição de cada espécie dissolvida entre estes dois padrões de áreas. A descarga específica média para as áreas de florestas é de $8,94 \text{ l/s/Km}^2$ (RIO ITABÓ) e para a área desflorestada é de $13,31 \text{ l/s/Km}^2$ (RIO ARROIO GUAÇÚ).

183

- 43 Comparação entre as descargas sólidas específicas de espécies dissolvidas de bacias florestadas e desflorestadas sobre basaltos.

185

ÍNDICE DAS ILUSTRAÇÕES
FIGURAS

- 01 Temperatura média anual e diferenciações climáticas no Estado do Paraná. ADAPTAÇÃO DE NIMER (1971). 9
- 02 Distribuição da pluviosidade anual média observada no Estado do Paraná entre 1926 e 1963 segundo MAACK 1968. Distribuição das chuvas na bacia do Rio Ivaí em 1976. Campos de influência de cada posto fluviométrico da bacia segundo método de THIESSEN. 10
- 03 Mapa de situação dos pontos de amostragem e Mapa geológico da bacia hidrográfica do Rio Ivaí. 14
- 04 A bacia do Córrego Jacutinga com um mapeamento esquemático de suas pendentes topográficas e delimitação da área efetiva da bacia. 27
- 05 A bacia do Ribeirão do Rato com um mapeamento esquemático de suas pendentes topográficas e delimitação da área efetiva da bacia. 30
- 06 A bacia do Córrego Horácio com um mapeamento esquemático de suas pendentes topográficas e delimitação da área efetiva da bacia. 32
- 07 A bacia do Córrego Vinete e Um com mapeamento esquemático de suas pendentes topográficas e delimitação da área efetiva da bacia. 35
- 08 Mapa de localização - pontos de coleta de águas da formação Serra Geral e Caiuá. 37

- 09 Evolução de uma secção do RIBEIRÃO DO RATO desde quando a bacia hidrográfica era coberta por florestas até a situação atual. Esquema montado a partir de observações no local e informações de antigos habitantes da Região. 64
- 10 Variação da concentração de sólidos em suspensão com vazão do Rio Ivaí, na estação do NOVO PORTO TAQUARA. 68
- 11 Variação mensal da pluviosidade, concentração de sólidos em suspensão e vazão líquida no Córrego Jacutinga, observada na estação do Sítio Ouro Verde, em 1975, 1976 e 1977. 72
- 12 Variação mensal da pluviosidade, concentração de sólidos em suspensão e vazão líquida no Rio Arroio Guaçu, observada em 1977, 75
- 13 Variação mensal da pluviosidade, concentração de sólidos em suspensão e vazão líquida no Rio Itabó, observada em 1977. 77
- 14 Variação mensal da pluviosidade, concentração de sólidos em suspensão e vazão líquida no Córrego Horácio, observada em 1975, 1976 e 1977. 83
- 15 Variação mensal da pluviosidade, concentração de sólidos em suspensão e vazão líquida no RIBEIRÃO DO RATO, observada na estação do Poço Artesiano em 1975, 1976 e 1977. 84
- 16 Variação da concentração média de sólidos em suspensão com as pendentes, observada nos Córregos Horácio, Vinte e Um e RIBEIRÃO DO RATO. 85
- 17 Distribuição da frequência de ocorrência de amostras com determinados intervalos de concentração de sólidos em suspensão, observada no RIBEIRÃO DO RATO. 87

- 18 Distribuição da frequência de ocorrência de amostras com determinados intervalos de concentração de sólidos em suspensão, observada no CÓRREGO HORÁCIO. 88
- 19 Distribuição da frequência de ocorrência de amostras com determinados intervalos de concentração de sólidos em suspensão, observada no CÓRREGO VINTE E UM. 89
- 20 Diagrama de Piper, representando a composição química de amostras de águas naturais coletadas em terrenos basálticos, extraídas dos arquivos da A.R.H.(TABELA 21). 97
- 21 Diagrama de Piper, representando a composição química de amostras de águas coletadas no CÓRREGO JACUTINGA, na estação do SÍTIO OURO VERDE (TABELA 22). 98
- 22 Representação da correlação entre a concentração de sólidos totais dissolvidos e a concentração de HCO_3^- , para águas sobre basaltos. 100
- 23 Variação, em águas da concentração de Na^+ com a concentração de sólidos totais dissolvidos, representada pelo HCO_3^- , sobre basaltos. 102
- 24 Variação, em águas sobre basaltos, da concentração de K^+ com a concentração de sólidos totais dissolvidos, representada pelo HCO_3^- . 104
- 25 Variação, em águas sobre basaltos, da relação $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ com a concentração de sólidos totais dissolvidos, representada pelo HCO_3^- . 105
- 26 Variação, em águas sobre basaltos, da concentração de Ca^{++} com a concentração de sólidos totais dissolvidos representada pelo HCO_3^- . 108
- 27 Variação, em águas sobre basaltos, da concentração de Na^{++} com a concentração de sólidos totais dissolvidos representada pelo HCO_3^- . 110

- 28 Variação, em águas sobre basaltos, da concentração de SiO_2 , com a concentração total de sólidos dissolvidos representada pelo HCO_3^- . 113
- 29 Campos teóricos de estabilidade de minerais em ambiente aquoso superficial, em relação a $\log (\text{Ca}^{++})/(\text{H}^+)^2$ e $\log (\text{H}_4\text{SiO}_4)$. (1,2,3,4 - Médias trimestrais do CÔRREGO JACUTINGA; J - Média anual do Córrego; B - Médias dos rios da TABELA 18). 126
- 30 Tipo geoquímico de alteração das rochas básicas do CÔRREGO JACUTINGA, segundo método de PÉDRO. 133
- 31 Tipo geoquímico de alteração das rochas básicas do CÔRREGO JACUTINGA, segundo método de TARDY. 133
- 32 Diagrama de Piper, representando a composição química de amostras de águas coletadas sobre o CAIUÁ. 141
- 33 Diagrama de Piper, representando a composição química de amostras de águas coletadas no CÔRREGO HORÁCIO, na estação do BARRACO DE ZINCO (TABELA 28). 142
- 34 Diagrama de Piper, representando a composição química de amostras de águas coletadas no CÔRREGO VINTE E UM, na estação da FAZENDA VITÓRIA (TABELA 29). 143
- 35 Diagrama de Piper, representando a composição química de amostras de águas coletadas no RIBEIRÃO DO RATO, na estação do POÇO ARTESIANO (TABELA 30). 144
- 36 Variações trimestrais médias de espécies dissolvidas e de vazões líquidas, observadas durante o ano no CÔRREGO JACUTINGA. 156
- 37 Variações trimestrais médias de espécies dissolvidas e vazões líquidas, observadas durante o ano, nos: CÔRREGO VINTE E UM (V); CÔRREGO HORÁCIO (H); RIBEIRÃO DO RATO (R). 157

- 38 Diagrama de Piper, representando a composição química de amostras de águas coletadas no RIO IVAÍ, no NOVO PORTO TAQUARA (TABELA 36).

AGRADECIMENTOS

Este trabalho teria sido impossível sem a ajuda de várias pessoas que, de uma maneira ou outra, colaboraram com o autor. Dentre as pessoas e instituições merecedoras dos mais sinceros agradecimentos estão:

o Prof. ADOLPHO JOSÉ MELFI, pela orientação competente, apoio e amizade durante a elaboração deste trabalho;

a ADMINISTRAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS na pessoa dos Engenheiros CLÁUDIO HERCÍLIO DE OLIVEIRA ARAUJO, JURIMAR CAVICHIOLO e JOSÉ NEVES LABATUT, Superintendentes do órgão em diversas etapas desta pesquisa, pelo apoio total da ARH;

a FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO pela bolsa de estudo conferida ao autor durante seus cursos de pós graduação na USP em 1971 a 1973;

o INSTITUTO DE BIOLOGIA E PESQUISAS TECNOLÓGICAS pela gentileza da confecção das análises químicas de ba saltos;

os técnicos do Núcleo de Disponibilidade de Águas da ARH, CAMILO ARLINDO MARQUES, VILTO MARTINS MATSUNAGA ROBERTO JOSÉ ASSUMPÇÃO, ADILSON JOSÉ DE LARA, FRANCISCO XAVIER MATSUNAGA, JOÃO NAURE DA CRUZ, LUIZ FERNANDO LIBERATO e outros que muito contribuíram para a obtenção e classificação de dados utilizados;

os desenhistas PAULO TABAJARA, ALFREDO ARAUJO NETO, OTTO LAURENTINO ROSA e outros que colaboraram na confecção dos desenhos;

o Engº químico ROBERTO PEREIRA STREITEMBERGER, ' Engº químico RUI LEITE DE CARVALHO e químico ANTONIO CORDEIRO MARAFIGO, chefes do Centro de Pesquisas, Serviço de Laboratório e Físico-química da ARH, pelas análises cuidadosas de amostras de águas;

o saudoso amigo RUI EGG que, através seu exemplo de tenacidade e firmeza de carater, muito incentivou a execução deste trabalho;

os colegas e amigos do Núcleo de Disponibilidade de Águas em especial do Serviço de Águas Subterrâneas por seu estímulo e cooperação;

a CÉLIA MARIA DE LARA TAVARES responsável pelo cuidadoso trabalho de datilografia;

a MARIA DA GRAÇA BOTELHO BITTENCOURT pela dedicação de esposa, compreensão, paciência e incentivo, durante todo o decorrer desta pesquisa e pela minuciosa revisão dos textos.

1. INTRODUÇÃO

Em regiões submetidas a uma intensa e nem sempre bem orientada ocupação do solo, como é o caso de certas áreas do Estado do Paraná, alguns problemas de rompimento do equilíbrio ecológico podem surgir, principalmente em zonas onde a própria constituição física do terreno demanda de um maior controle ocupacional.

Dentre os maiores fenômenos de impacto ecológico negativo, advindos da ocupação antrópica do Estado, destaca-se a erosão do solo e o consequente assoreamento de reservatórios de água, portos marítimos, vias fluviais, etc..

Como é sobejamente conhecido, o processo erosivo do solo tem no Noroeste do Paraná um exemplo drasticamente palpável, que apenas na última década tem merecido uma significativa atenção dos órgãos governamentais. Visando controlar a erosão, várias entidades e comissões tem agido nas regiões afetadas, sendo porém esta ação ainda insuficiente devido à magnitude e complexidade do problema. Para o equacionamento do fenômeno erosivo, são imprescindíveis estudos profundos, tanto do meio físico como da dinâmica do processo, envolvendo uma quantificação e um monitoramento da evolução temporal do mesmo.

A região Noroeste do Paraná, com uma área de 64.319 Km², representa uma importante parcela do Estado (199.060 Km²), e é responsável por 67,7% da produção agrícola do Paraná(1974), dados estes que atestam sua importância no contexto estadual e mesmo nacional.

A tomada de consciência do problema do Noroeste

do Paraná, teve início durante o "Programa da Bacia do Prata", promovido pela Organização dos Estados Americanos. Dentro deste programa, foi no Brasil selecionada como prioritária a área em pauta para estudos de como combater a erosão. Através desta ação Internacional foram iniciados trabalhos com a participação do Ministério do Interior por meio do DNOS (1970 - 1972) e posteriormente pela SUDESUL (1972 - 1978). Na fase de trabalhos onde a ação federal passou a caber principalmente à SUDESUL, foi formado um grupo de estudos para desenvolver o chamado "Projeto Noroeste", oficialmente denominado "Estudo Para o Desenvolvimento Regional do Estado do Paraná", ação esta vinculada na esfera estadual à Secretaria do Planejamento. Mais recentemente, houve um esvaziamento do "Projeto Noroeste", quando a erosão Urbana passou a ser responsabilidade da recém-criada Superintendência de Controle da Erosão do Estado do Paraná (SUCEPAR), e a erosão rural ficou sob a responsabilidade da Secretaria da Agricultura.

A partir dos estudos iniciais do "Projeto Noroeste", foram selecionadas diversas sub-bacias, que seriam representativas de áreas típicas da região, segundo a geologia e ocupação superficial.

Vinculada à Secretaria de Estado do Interior do Paraná, em 1973, foi criada a Administração de Recursos Hídricos (ARH), autarquia que tem, dentre suas atribuições, a de avaliar a quantidade e qualidade dos recursos hídricos do Estado. A ARH mantém uma estrutura para obter dados pluviométricos, fluviométricos e sedimentométricos.

A ARH selecionou, para iniciar a obtenção de dados relativos à vazão sólida de cursos de água, justamente a região Noroeste, onde o problema da erosão e transporte de sólidos se apresenta mais grave.

Dentre as sub-bacias selecionadas pelo "Projeto Noroeste", foram escolhidas quatro que reúnem as condições mais adequadas para um estudo de sólidos transportados em suspensão e por arraste de fundo, respectivamente por métodos convencionais e por emprego de traçadores radioativos. Além das sub-bacias foi selecionada uma seção do rio Ivaí, próxima à sua foz para estudos do mesmo tipo.

Foram executadas medições fluvio - sedimentométricas convencionais, e determinações sedimentométricas com traçadores radioativos, que foram executadas pelo Instituto de Pesquisas Radioativas - (IPR).

O presente trabalho tem por escopo fornecer subsídios para um melhor conhecimento da denudação sofrida pela região Noroeste do Paraná, onde denominam basaltos e arenitos e do transporte de sólidos pelos rios que drenam esta região. Tal estudo foi conduzido através da análise do transporte de sólidos em suspensão e/ou em solução nas bacias hidrográficas da região. Por contraposição dos dados de erosão mecânica e alteração química, são feitas estimativas da taxa de variação da espessura do manto de intemperismo dos basaltos.

Para atingir os objetivos acima propostos, as atividades desta pesquisa concentram-se em dados levantados na região Noroeste do Paraná, e mais especificamente na bacia hidrográfica do rio Ivaí. As coletas de amostras e determinações de campo foram executadas nas estações fluvio-sedimentométricas operadas pela ARH e sediadas, uma no próprio Ivaí e outras quatro em um igual número de tributários daquele coletor.

A despeito de uma maior quantidade de dados levantados na bacia do Ivaí, são empregadas informações obtidas em diversos pontos da Formação Serra Geral e Caiuá, no Estado do Paraná e mesmo no Paraguai. Estas informações sugere

rem a possibilidade de algumas extrapolações para áreas mais abrangentes daquelas duas formações.

Este tipo de estudo, representa de certa forma um trabalho pioneiro no Brasil, onde são raros ou praticamente inexistentes estudos de balanço de sólidos hidrotransportados em bacias hidrográficas, envolvendo o material movimentado dissolvido, contribuindo para o conhecimento da taxa de denudação para uma região.

Em âmbito internacional, são notáveis os trabalhos de Livingstone (1963) e de Gibbs (1972). O primeiro, elaborou composições químicas de águas drenadas pela média dos rios da América do Norte, Europa, Nova Zelândia, Austrália, África e América do Sul. Com estes dados e mais estimativas da descarga líquida média de cada região, ele montou um quadro de denudações químicas sofridas pelos continentes, através de sólidos transportados dissolvidos. Quanto à América do Sul, seus dados de partida foram poucos e alguns imprecisos.

Gibbs (1972), com base em uma boa coleção de dados sobre o Amazonas, chegou a estimativas mais precisas sobre o movimento de sólidos dissolvidos na América do Sul. Este autor lançou mão de dados químicos e fluviométricos levantados mensalmente entre maio de 1964 e abril de 1966.

Na bacia do Paran, em sua porção brasileira, não se tem conhecimento de trabalhos baseados em dados químicos e sedimentométricos conjugados, obtidos sistematicamente em período superior a um ciclo anual, permitindo estimativas de denudação mecânica e química.

Szikzay(1973), chegou a algumas cifras com respeito ao transporte de material dissolvido em alguns afluen

tes do rio Paraná em São Paulo e Mato Grosso, no próprio rio Paraná naquele último Estado e no rio Pelotas, afluente do rio Uruguai, no Rio Grande do Sul, porém seu estudo não foi sistemático, representando mais um inventário hidroquímico.

2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

2.1. Clima

As características climáticas da área de estudo são estabelecidas basicamente por três massas de ar que atuam mais diretamente sobre a Região Sul do Brasil, durante o decorrer do ano (O.E.A. - 1975).

Por ação do anticiclone do Atlântico, a massa tropical atlântica atua durante praticamente todo o ano. Adentrando a região do Ivaí pelo Nordeste, esta massa chega com seu conteúdo de umidade atenuado por ação das serras costeiras. Durante o verão, a sua base estando aquecida, provoca chuvas estivais, enquanto que no inverno, com a base resfriada, tem grande estabilidade, ocasionando uma estação mais seca.

Tida como responsável principal das chuvas de inverno, mais características da parte sul da bacia do Ivaí, atua a massa polar atlântica, gerada pelo anticiclone móvel polar, frio e úmido. Esta massa, atuando relacionada a flutuações da massa tropical atlântica originada pelo anticiclone do Atlântico e das massas tropicais continentais, faz com que o estabelecimento de frentes frias seja precedido por dias quentes e secos, seguidos de fortes precipitações pluviométricas prévias. O trecho superior da bacia é varrido alternadamente pela massa tropical atlântica e pela massa polar atlântica, provocando um regime de chuvas distribuídas durante todo o decorrer do ano.

Ativo principalmente durante o verão, é formado

no Chaco e centro depressivo de origem térmica mais importante da América do Sul. Também conhecido como Baixa do Chaco, este centro costuma se deslocar para sudeste, quando sofre influência da massa polar, ocasião em que, vinda de Nordeste adentra na região a massa tropical continental, de baixa umidade e alta temperatura. Principalmente durante o verão, esta massa tropical continental pode atrair a massa equatorial continental, quente e úmida, vinda do Amazonas. A ação dessas massas provoca a ocorrência de altas temperaturas, precedidas de precipitações, no caso da massa equatorial e um calor seco seguido de chuvas tormentosas e baixas temperaturas devido a avanço da massa polar, no caso da massa tropical.

O Sul do Brasil é uma região úmida e onde a pluviosidade normalmente se distribui uniformemente durante o ano. A média anual da precipitação pluviométrica na Região está compreendida entre 1250 mm e 2000 mm (Nimer, 1971). Em três pequenos núcleos, um no Litoral do Paraná, outro em Santa Catarina e um terceiro no Rio Grande do Sul, a precipitação excede 2000 mm. Com precipitação média inferior a 1250mm individualizam-se uma parte do Norte-Noroeste do Paraná e um pequeno trecho do Litoral Catarinense.

A maior parte da Região Sul do Brasil, de clima Temperado, se caracteriza por uma homogeneidade na distribuição das chuvas, podendo as máximas e mínimas anuais ocorrerem em qualquer estação do ano. Situado no extremo setentrional da Região Sul, o Norte-Noroeste do Paraná é a Região onde o clima mais se assemelha ao Tropical, onde as maiores precipitações ocorrem no verão e as menores no inverno.

Uma pequena área do Noroeste é a única do Sul do Brasil onde ocorre um período seco durante o ano, 1 a 2 meses no inverno, estando parte da bacia do rio Ivaí compreendida nesta área (FIGURA 1). Cumpre-se salientar que o con

ceito de período seco ou mês seco, é aquele sugerido por Bagnouls(1953), em que o total de precipitação é igual ou inferior ao dobro da temperatura média mensal, conceito este adotado por Nimer (1971).

Entre a área com período seco e o restante da Região Sul do Brasil, aparece uma faixa sub-seca limitando o Brasil Tropical, com máximas e mínimas no verão e inverno, e o Brasil Temperado, de chuvas bem distribuídas durante o ano. Esta faixa também está representada na bacia do Ivaí. O conceito de mês sub-seco é o adotado por Nimer, baseado no limite térmico proposto por Walter e Lieth(1970), no qual a precipitação limite é igual ou menor do que o triplo da temperatura média mensal.

Naturalmente, existem anos em que o regime pluviométrico excede ou é inferior ao normal, sendo isto reflexo de variações no comportamento das frentes polares e das emissões de ventos tropicais.

Na análise da pluviometria da Região do Ivaí, foram empregados dados levantados em 63 estações pluviométricas operadas pela ARH e pelo DNAEE. Na FIGURA 2 estão localizadas as estações da ARH e também representadas as áreas de influência de cada posto, estabelecidas pelo método de Thiessen, com o intuito de se avaliar a precipitação média e total da bacia. A maioria dos postos na bacia hidrográfica do Ivaí, entrou em operação em 1975, apesar do estabelecimento completo da rede pluviométrica do Paraná (746 postos) operada pela ARH só ocorrer no ano seguinte, motivo pelo qual se considerou apenas os postos em operação em 1975, para o estabelecimento das isoietas de 1976.

Durante os anos de 1975 e 1976, a bacia hidrográfica do rio Ivaí recebeu uma carga pluvial média de 1601,26

TEMPERATURA MÉDIA ANUAL

DIFERENCIAÇÕES CLIMÁTICAS

		TROPICAL		TEMPERADO	
MESOTÉRMICO	SUBQUENTE	Superúmido	Úmido		com 1 a 2 meses secos
	Brando				com subseca
MESOTÉRMICO	Médio	Superúmido			com subseca
					sem seca
MESOTÉRMICO					sem seca
					sem seca

FIGURA 1:- TEMPERATURA MÉDIA ANUAL E DIFERENCIAÇÕES CLIMÁTICAS NO ESTADO DO PARANÁ. ADAPTAÇÃO DE NIMER (1971).

ISOIETAS MÉDIAS ANUAIS

ISOIETAS ANUAIS - 1976

FIGURA 2:- DISTRIBUIÇÃO DA PLUVIOSIDADE ANUAL MÉDIA OBSERVADA NO ESTADO DO PARANÁ ENTRE 1926 E 1963 SEGUNDO MAACK 1968. DISTRIBUIÇÃO DAS CHUVAS NA BACIA DO RIO IVAÍ EM 1976. CAMPOS DE INFLUÊNCIA DE CADA POSTO FLUVIOMÉTRICO DA BACIA SEGUNDO MÉTODO DE THIESSEN.

mm e 1732,82 mm, respectivamente. O volume total de água que foi recebido pela bacia foi de $57,5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ em 1975 e $62,2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ em 1976, o que corresponde a uma carga de $1,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{Km}^2$ e $1,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{Km}^2$, respectivamente. Descontando-se o deflúvio medido no Novo Porto Taquara, que foi de $20,1 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ em 1975 e de $23,6 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ em 1976, resta um saldo de $34,0 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ para 1975 e de $34,9 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ para 1976, que é correspondente, à parcela evaporada e infiltrada.

A distribuição da chuva durante o ano em alguns postos selecionados é apresentada nas FIGURAS 11, 14 e 15.

Como poderá ser observado em outro capítulo, é justamente no terceiro trimestre do ano que ocorrem as maiores vazões de sólidos em suspensão nos rios e córregos que drenam a região. Importante se faz observar a alta concentração de chuvas no fim da primavera, coincidente com a época em que grande parte dos terrenos está desprotegida por ausência de vegetação, devido ao preparo da terra para culturas de verão.

A Região Norte-Noroeste do Paranã comporta os únicos pontos do território sul-brasileiro adentrados pelas isotermas de 22°C e 20°C , justamente naquelas zonas onde ocorre estação seca e sub-seca.

À excessão das áreas abrangidas pelas mencionadas isotermas, as temperaturas caracterizam uma zona temperada, estabelecida pela posição geográfica e relevo.

Na bacia do Ivaí adentram as isotermas médias anuais de 22°C , 20°C , 18°C e 16°C . Estas isotermas estão relacionadas, segundo Nimer às altitudes de 350-400 m, 550-600m, 650-700 m e 800-900 m, respectivamente (FIGURA 1).

De acordo com o caráter térmico, o clima regioio

nal pode ser compartimentado em clima sub-quente, clima mesotérmico médio e clima mesotérmico brando (FIGURA 1).

O Noroeste do Paraná é dominado pelo clima Tropical sub-quente, que se estende por cerca de 55% da bacia do Ivaí. Neste clima são características médias de 26 e 24°C em janeiro e a média do mês mais frio superior a 15°C, com temperaturas médias anuais superiores a 20°C.

O clima mesotérmico brando envolve 45% da bacia hidrográfica do rio Ivaí, sendo característica deste clima um mês com temperatura média inferior a 15°C.

O clima mesotérmico médio ocorre apenas em cotas elevadas, acima de 1300 m no Paraná, não tendo influência sensível no Noroeste. O clima úmido ocorre no Noroeste do Paraná, estando 14% sobre a bacia do Ivaí.

2.2. Geologia

A Região do Estado do Paraná abrangida por este estudo, na qual se situa a bacia hidrográfica do rio Ivaí, estende-se sobre um substrato geológico composto basicamente por três compartimentos: Formação Serra Geral; Formação Caiuá ou sedimentos supra-basálticos arenosos; Sequência Paleozóica mais a Formação Botucatu (FIGURA 3). Dados sobre geologia que não relacionados à Formação Serra Geral e sedimentos supra-basálticos, serão abordados apenas na bacia do Ivaí.

O compartimento mais a montante da bacia hidrográfica em pauta, constitui-se da Sequência Paleozóica, que é representada na Região pelo Grupo Passa Dois, composto pelas Formações Rio do Rastro, Terezina, Serra Alta e Irati (Schneider et al., 1974). Estas Formações e mais a Formação Bo

tucatu, do Grupo São Bento, formam a base da parte superior da bacia do Ivaí ocupando 27% da mesma.

A Formação Irati constitui-se de um pacote de folhelhos cinza escuro e folhelhos pirobetuminosos associados a algum calcário. A Formação Serra Alta, sobreposta à Formação Irati, é formada por uma sequência de folhelhos, argilitos e siltitos cinza escuro a pretos, com algumas concreções e lentes calcíferas. Constituída por uma alternância de folhelhos e argilitos com siltitos e arenitos finos, a Formação Terezina se sobrepõe à Formação Serra Alta. A Formação Rio do Rastro é constituída por sedimentos basicamente clásticos, como argilitos, siltitos e arenitos finos e situa-se estratigráficamente acima da Formação Terezina.

A Formação Botucatu é constituída por arenitos eólicos finos a médios, com uma camada de arenito conglomerático na base (Formação Piramboia). Esta Formação, pertencente ao Grupo São Bento, separa a Sequência Paleozóica do Grupo Passa Dois da Formação Serra Geral.

Aflorando em cerca de 55% da área da bacia hidrográfica do Ivaí, a Formação Serra Geral é composta por rochas efusivas básicas do Mesozóico da Bacia do Paraná. As rochas da citada Formação são representadas por basaltos toleíticos cortados por diques e sills de diabásio, sendo frequentes algumas intercalações de lentes e camadas de arenito intertrápico.

As rochas basálticas da Formação Serra Geral tiveram sua mineralogia, química e petrogênese estudadas por diversos autores, destacando-se o estudo mais recente e completo, que foi levado a efeito por Ruegg (1975).

Compartimentando quimicamente a província basál

FIGURA 3

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVAÍ

MAPA DE SITUAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM
MAPA GEOLOGICO

PONTO A NOVO PORTO TAGUARA - RIO IVAÍ
PONTO B CORREDO HORACIO
PONTO C CORREDO MONTE S. DU
PONTO D RIO DO MATO
PONTO E CORREDO JACUTIBA
PONTO F PORTO MONTEIRO

CONVENÇÃO GEOLOGICA

FORMAÇÃO CAIUA
FORMAÇÃO SERRO NEAL
SEQUENCIA PALEOZOICA/PN DEPOSITO

ESCALA METROS
0 10 20 30 40 50

tica da Formação Serra Geral, Ruegg (1975) caracteriza uma sub-província que chamou de Central e que abrange a Região deste estudo, onde os dados químicos sugerem uma série de diferenciação de origem toleítica evoluindo para andesitos.

A mineralogia das rochas basálticas da Formação Serra Geral, foi estudada em diversos trabalhos, como os de Walter (1927), Guimarães (1933), Gutmans (1943), Almeida (1946), Leinz (1949), Schneider (1964-1970), Amaral et al (1966) Melfi (1967), Ruegg (1969-1970), sendo as informações destes trabalhos compiladas e complementadas por Ruegg (1975), de cujo trabalho foram extraídos os dados sobre mineralogia dos basaltos, constantes dos próximos parágrafos.

Como minerais essenciais dos basaltos em questão se destacam os feldspatos álcali-cálcicos e piroxênios, perfazendo os dois de 70% a 90% do volume total da rocha.

Os plagioclásios se situam majoritariamente na faixa da andesina, sendo também comuns feldspatos potássicos, geralmente microcristalinos, completando muitas vezes mais de 10% da composição da rocha.

Dentre os piroxênios, predominam as pigeonitase clinopiroxênios sub-cálcicos, enquanto que augitas e ferroau^gitas ricas em cálcio são encontradas nos equivalentes intru^ssivos.

Magnetitas, ilmenitas e sulfêtos são os opacos geralmente encontrados.

Na matriz que preenche os espaços entre os cris^tais de plagioclásios e piroxênios, encontram-se, além dos feldspatos potássicos, cloritas, serpentinas, quartzo e ou^{tr}os minerais em muito pequena quantidade.

É comum a ocorrência de basaltos Amigdaloidais,

podendo estes ser preenchidos principalmente por quartzo, variedades microcristalinas ou hidratadas de sílica, calcita e zeolitas.

Cobrindo cerca de 18% da bacia do rio Ivaí, em sua porção mais a jusante, a Formação Caiuá é formada por arenitos de origem ainda um tanto controvertida. Alguns autores postulam um ambiente eólico para a deposição da Formação, enquanto que outros acreditam em uma deposição sub-aquática, havendo ainda quem veja uma origem mista.

No Noroeste do Paraná as evidências de campo sugerem um ambiente predominantemente eólico, talvez com alguns " fácies " sub-aquáticos.

A origem eólica pode ser evidenciada por enormes estruturas de estratificação cruzada, visíveis em diversos afloramentos em cortes de estradas, nas barrancas dos rios Paraná e Ivaí e no interior de vossorocas, como em Cianorte, Paranavaí, Rondon, etc.

Em alguns locais, o Caiuá apresenta características de uma deposição sub-aquática de ambiente fluvial de alta energia, o que é caracterizado por depósitos de seixos, constituídos principalmente por calcedônia e quartzo provenientes dos basaltos encontrados em diversos locais próximos ao Ivaí. Este tipo de sedimento pode bem se relacionar a uma Formação mais recente do que a Caiuá.

Perto da cidade de Rondon, nas margens do Ribeirão do Rato e em diversas amostras de poços tubulares profundos, controlados pela ARH, o Caiuá se apresenta com feições que podem evidenciar uma deposição sub-aquática, como a grande quantidade de matriz siltico-argilosa e uma certa porção de carbonatos. O material argiloso da matriz é uma argila esmeclítica, e o carbonato é calcita, como foi comprovado por

Raio X. Os níveis com os aspectos supra mencionados, apresentam-se um tanto isotrópicos quanto as características macroscópicas, sendo viável a hipótese da deposição ter-se dado sob a água.

Grande parte da área da Formação Caiuã, principalmente nos interflúvios, conforme observações de campo, apresenta-se coberta por um material arenoso, sem estruturas, que tem características de ter sofrido um processo de coluvionamento. Este coluvionamento estaria relacionado a um período de alta energia, caracterizado por intensos movimentos de massa que teriam remanejado grande parte dos perfis de alteração do arenito. Deste período encontram-se ainda, vestígios em "paleovossorocas", como uma que ocorre em Paranavaí, conhecida como Buracão. Analizando-se aspectos desta vossoroca, observa-se que ela é uma reativação de um antigo corpo de erosão linear, posteriormente preenchido e reativado quando do desmatamento da região. Este preenchimento se deu com um material argiloso cinza escuro contendo muita matéria orgânica. Sobre este material existe um sedimento francamente arenoso, apresentando aquelas estruturas de dissipação descritas por Bigarella(1965) na ilha de Santa Catarina, o que caracterizaria um ambiente dunar.

Dos vários aspectos supra mencionados, pode-se pensar que a região teria sofrido sensíveis modificações climáticas e/ou tectônicas, que teriam, por sua vez, provocado alternâncias de alguns períodos curtos de Biostasia e Resistasia (Erhart, 1954). Estes períodos bio-resistásticos seriam caracterizados pelas épocas em que a região estaria em equilíbrio sob um manto de florestas, equilíbrio este, por vezes rompido por modificações climáticas ou mesmo tectônicas, que teriam provocado intensa movimentação de massa nos materiais pouco consolidados do substrato, formando as espessas capas de colúvio encontradas na Região, além de um intenso vossorocamento.

Também relacionada a esta época de movimentação de massa, pode-se situar a colmatação dos rios da região, que tiveram suas calhas sensivelmente modificadas.

Se períodos de Resistasia anteriores foram provocados por modificações climáticas e/ou tectônicas, está havendo atualmente, um período resistásico, agora por influência antrópica, devido ao desmatamento criminoso pelo qual passou a região. Neste período antro-po-resistásico, foram e estão sendo reativadas antigas linhas de erosão, preenchidas por colúvio e material pouco consolidado.

Entre o Caiuã e os depósitos modernos, Landim e Fúlfaro (1971) anotaram um nível conglomerático, algumas vezes limonitizado, nos Estados de São Paulo e Mato Grosso. No vale do Ivaí, observa-se, em diversos locais, como perto do talvegue do Córrego Vinte e Um, um nível de seixos, principalmente de ágata e quartzo, que se interpõe entre o Caiuã e um sedimento mais recente muito argiloso, sobre o qual se impõe um processo pedogênese. Tal material, algumas dezenas de metros do eixo do Córrego, é capeado pelo sedimento arenoso que recobre grande parte do Caiuã.

No período compreendido entre a deposição do Caiuã e o estabelecimento dos depósitos modernos, Landim e Fúlfaro (1971) mencionam atividades tectônicas que seriam responsáveis pelos movimentos de massa caracterizados pelo próprio Caiuã, pelo nível de seixos e pelo capeamento de sedimentos modernos.

Hipóteses de atividades tectônicas modernas de basculamento, afetando a bacia hidrográfica do rio Ivaí foram mencionadas por Barthelme (1965).

Os depósitos arenosos modernos mencionados, tem uma grande importância uma vez que é sobre eles que se impõe

o processo erosivo atual.

2.3. Relevo

O Estado do Paraná, é em sua maior extensão, formado por escarpas de estratos e planaltos que declinam suavemente em direção Oeste e Noroeste (Maack, 1968).

Duas grandes regiões naturais se destacam, ou seja: o litoral e os planaltos do interior. Separando estas duas regiões se impõe a escarpa de falhas transversais denominada Serra do Mar.

Os planaltos do Interior são separados por dois grandes degraus, um formado por sedimentos paleozóicos e outro limitando a Sequência Paleozóica e as formações Mesozóicas.

A bacia do Ivaí adentra o Segundo Planalto ou de Ponta Grossa, porém este estudo se concentra no Terceiro Planalto, ou seja o Planalto de Guarapuava.

Na porção coberta pelas formações arenosas supra basálticas, o relevo é muito pouco movimentado, praticamente plano e suave-ondulado, com raríssimas elevações, como é o caso do Morro dos Três Irmãos em Terra Rica e da Serra dos Dourados onde o relevo vai do suave ondulado até forte ondulado.

A porção basáltica do 3º planalto, por sua vez, suporta relevos predominantemente planos ou suavemente ondulados e subordinadamente forte ondulado e montanhoso.

Quanto ao rio Ivaí, geomorfologicamente, seu vale se desenvolve sobre cinco compartimentos que são, de jusante para montante: Superfície de Guaíra; Secção dos Saltos; Ci

clo do Cândido de Abreu; Superfície de Prudentópolis e Superfície de Guarapuava (Barthelmess, 1965).

A Região estudada está compreendida pela Superfície de Guaíra e parte da Secção dos Saltos.

Desde a foz do Ivaí até a foz do rio Ligeiro, na cota de 250 m, onde o declive do perfil longitudinal sofre uma descontinuidade, ocorre a secção longitudinal que se desenvolve sobre a chamada Superfície de Guaíra que, em 300 Km apresenta uma declividade média de 100 cm sobre o eixo do vale. Esta superfície se desenvolve tanto sobre a Formação Serra Geral como sobre a Formação Caiuá, enquanto que, ao lado de uma grande homogeneidade e extensão sobre o perfil longitudinal do rio a superfície de Guaíra tem precária evolução transversal. Sobre a Superfície citada, observa-se um assoreamento promovido pelo Rio Ivaí, fenômeno este que é evidenciado pelos meandros, feixes de restingas e cordões em crescente do seu curso.

A precária evolução lateral da Superfície de Guaíra sugere uma alteração na competência de transporte dos rios, provocada talvez por um basculamento do edifício estrutural para o Norte, diminuindo a declividade do Paranã, o que teria provocado um barramento natural dos afluentes, dentre os quais o Ivaí, formando ilhas e cordões marginais.

A agradação do vale do rio Ivaí, não chegando a sepultar toda a Superfície de Guaíra, deixa a descoberto os 50 Km do perfil abaixo da foz do rio Ligeiro onde o rio tem seu curso um tanto mais reto do que nos trechos vizinhos.

Com um declive mais ou menos constante, de 2 m/Km o Ivaí percorre, desde a foz do rio Ligeiro até o Salto Ubá, a chamada Secção dos Saltos, com uma extensão longitudinal de 120 Km.

O Ciclo de Cândido de Abreu, a Superfície de Prudentópolis e a Superfície de Guarapuava afetam na Bacia do Ivaí apenas a montante do contacto entre a Formação Serra Geral e a Sequência Paleozóica, motivo pelo qual não se entrarão em maiores detalhes sobre estes compartimentos.

2.4. Solos e Vegetação

A vegetação natural, que é a expressão do clima em relação à natureza do solo, altitude e latitude (Maack, 1969), atualmente é quase inexistente no Norte, Noroeste e Oeste Paranaense.

O levantamento das grandes unidades naturais de vegetação consta do mapa fitogeográfico do Paraná (Maack, 1965), enquanto que os solos da região foram mapeados em nível de grandes grupos pelo Ministério da Agricultura (1970 - 1975).

As condições de clima das regiões estudadas favorecem uma alteração hidrolizante quase total das rochas do substrato, notadamente em se tratando de basaltos. Esta alteração é evidenciada pela presença maciça de latossolos e terras roxas estruturadas ou, em termos mais amplos, ferralsolos e nitossolos (FAO/UNESCO, 1971). Nas zonas de rupturas de pendentes mais acentuados, tem lugar solos litólicos pouco desenvolvidos.

No Brasil, a área dos solos desenvolvidos a partir das rochas basálticas da Formação Serra Geral, outrora coberta por exuberantes florestas em quase toda sua extensão, hoje em dia suporta intensa atividade agrícola, baseada no café, no binômio soja-trigo e em outros tipos de culturas, além de pequenos focos de vegetação secundária.

Na área dos solos derivados de materiais relaci

onados à Formação Caiuã, a ocupação vegetal superficial é composta atualmente por extensas áreas de pastagens artificiais com alguma atividade agrícola subordinada.

Os latossolos formam-se tanto sobre rochas básicas (terra roxa legítima) como sobre os sedimentos arenosos nas partes mais elevadas e planas da paisagem. Com profundidades médias de 5 m e extremas superiores a 20 m, seus horizontes são pouco diferenciados e sua textura é uniforme em âmbito de perfil. Quando se desenvolvem sobre basaltos são bastante utilizados para a agricultura, demandando práticas conservacionistas simples. Quando são derivados de material relacionado ao Caiuã, eles perdem rapidamente sua fertilidade após a retirada da vegetação primitiva e consumo da matéria orgânica residual que retinha nutrientes, passando a ser empregados principalmente para pastagens.

A terra roxa estruturada também ocorre largamente na região, formando um manto de alteração com cerca de 3 metros em média, horizontes pouco diferenciados e transições graduais. Desenvolvendo-se sobre basaltos, ocorre tanto em áreas contínuas, cobrindo altos e baixos topográficos, como sobre a faixa de basaltos descobertos dos arenitos em locais próximos ao leito de rios. Quando ocorre em terrenos muito inclinados, sua preservação demanda de práticas conservacionistas relativamente intensas.

Solos podzolizados profundos, ácidos e caracterizados por uma sequência de horizontes bem diferenciados com transições nítidas, ocorrem sobre arenitos.

Nas zonas onde o relevo é moderadamente acentuado, ou montanhoso, principalmente nas rupturas dependentes, ocorrem solos litólicos e brunizens. Tais solos são caracterizados por sua pequena espessura, geralmente ocorrendo apenas o horizonte A diretamente sobre rochas básicas praticamente

frescas e também sobre rochas da Sequência Paleozóica. Quando sobre rochas básicas, são bastante utilizados para agricultura por sua alta fertilidade natural apesar da necessidade de práticas conservacionistas.

Nos terraços quartenários próximos aos principais rios como o Ivaí, ocorrem solos aluviais eutróficos, que são compostos por um horizonte A seguido de camadas estratificadas. A fertilidade natural destes solos é boa e seu relevo plano praticamente isenta-os de danos causados pela erosão.

Além dos tipos de solos mencionados também ocorrem, em âmbito bastante restrito, areias quartzosas, solos hidromórficos e algumas associações.

A vegetação natural que se desenvolve sobre o compartimento superior da bacia do Ivaí, tanto sobre a Sequência Paleozóica como sobre basaltos, é composta basicamente por matas de araucárias com taquarais e palmáceas. No vale do Ivaí, próximo a foz do rio dos Patos, sobre as áreas relacionadas à Sequência Paleozóica e Botucatu, ocorre a região de mata pluvial subtropical, do interior, rica em epífitas, lianas e ciateáceas. Em poucos locais notados ocorrem manchas de campos limpos com capões e matas ciliares ao longo de rios e arroios.

Sobre a maior parte dos solos derivados de rochas basálticas, ocorre região de mata pluvial tropical dos planaltos do interior do Vale do Ivaí, rica em epífitas, lianas e palmáceas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

3.1.1. A Bacia do Rio Ivaí

A bacia do Ivaí é a bacia hidrográfica mais abrangente, em termos de área do Estado do Paraná, à exceção da bacia do rio Iguaçu. (FIGURA 3). Ela tem suas cabeceiras no planalto de Ponta Grossa ou segundo planalto, através do rio dos Patos, na Região Central do Estado e se desenvolve na direção geral Sudeste-Noroeste até encontrar o rio Paraná nas cabeceiras da Ilha Grande.

Geologicamente esta bacia hidrográfica se impõe de montante para juzante, diretamente sobre a Sequência Paleozóica, Formação Botucatu, Formação Serra Geral e sobre os depósitos supra-basálticos relacionados à Formação Caiuá.

Com relação ao coletor principal desta bacia, os maiores volumes de informações foram levantados no Novo Porto Taquara, situado no próprio Ivaí, próximo à sua foz, no trecho que separa os municípios de Santa Izabel do Ivaí e Maria Helena.

As porcentagens das áreas cobertas pelos compartimentos geológicos em relação ao total da bacia ou apenas à parte desta, situada a montante do Novo Porto Taquara constam da TABELA 1 baseada nos dados obtidos da FIGURA 3.

Serão também empregadas neste trabalho, estima

COMPARTIMENTO DA BACIA	ÁREA Km ²	TOTAL %	ÁREA Km ²	EFETIVA %
Bacia Total	35.914	100	33.760	100
FM. Caiuã	8.204	23	6.090	18
FM. S. Geral	18.570	52	18.570	55
FM. Botucatu + Seq. Paleozóica	9.100	25	9.100	27

TABELA 1 :- DISTRIBUIÇÃO SUPERFICIAL DOS COMPARTIMENTOS
GEOLÓGICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVAÍ.

tivas sobre sólidos hidrotransportados por rios que drenam a Sequência Paleozóica. Estas estimativas foram baseadas em dados obtidos na estação fluviométrica de Porto Monteiro no rio Alonso, o segundo maior tributário do Ivaí e que tem os rios de sua bacia quase todos sobre em basamento sedimentar Paleozóico.

3.1.2. Sub-Bacias do Rio Ivaí

O maior volume de informações empregadas neste trabalho teve origem em 4 sub-bacias do rio Ivaí, na porção de sua bacia hidrográfica situada a jusante do contacto Botucatu-basalto.

As sub-bacias estudadas são: a). bacia do Córrego Jacutinga; b). bacia do Ribeirão do Rato; c). bacia do Córrego Horácio; d). bacia do Córrego Vinte e Um.

— Bacia do Córrego Jacutinga

Esta bacia se localiza sobre terrenos basálticos, no município de Ivatuba e tem uma estação de medidas fluviométricas, sedimentométricas e de química de água, situada no local denominado Sítio Ouro Verde (FIGURAS 3 e 4).

A principal ocupação desta bacia é atualmente feita por culturas perenes, como o café, e principalmente por culturas sazonais como é o caso do binômio soja-trigo.

A TABELA 2 é continente de dados areais em relação a pendentes topográficas, tanto com respeito ao total da bacia como à porção a montante da estação de medidas.

CÓRREGO JACUTINGA
 ESCALA 1:50.000
 EQUIDISTÂNCIA 20m

LEGENDA

- CURVA DE NÍVEL
CURSO D' ÁGUA
LIMITE DA BACIA
LIMITE DA BACIA EFETIVA

GRADIENTES TOPOGRÁFICOS

- < 5%
5% a 10%
10% a 20%
> 20%

FIGURA 04:- A BACIA DO CÓRREGO JACUTINGA COM UM
 MAPEAMENTO ESQUEMÁTICO DE SUAS PENDENTES TOPO-
 GRÁFICAS E DELIMITAÇÃO DA ÁREA EFETIVA DA BACIA

COMPARTIMENTO DA BACIA	ÁREA Km ²	TOTAL %	ÁREA Km ²	EFETIVA %
Bacia Total	11,81	100,0	8,46	100,0
c/pendente infe rior a 5%	5,76	48,8	4,04	47,8
c/pendente de 5% a 10%	4,89	41,4	3,83	45,2
c/pendente de 10% a 20%	1,02	8,6	0,45	5,3
c/pendente supe rior a 20%	0,14	1,2	0,14	1,7

TABELA 2 :- DISTRIBUIÇÃO SUPERFICIAL DE INTERVALOS DE PENTES TOPOGRÁFICOS DENTRO DA BACIA DO CÓRREGO JACUTINGA.

— Bacia do Ribeirão do Rato

No município de Rondon, a bacia deste ribeirão secciona em sua porção mais a juzante o contacto Caiuá-basalto. A área efetiva da bacia, a montante da estação de medidas, no local chamado "Poço Artesiano" situa-se toda em terreno arenítico (FIGURAS 3 e 5).

Em termos de ocupação antrópica, esta bacia é submetida a atividades agrícolas e pecuárias.

As porcentagens da bacia, sobre diversas faixas de pendentes, constam da TABELA 3.

— Bacia do Córrego Horácio

Esta pequena bacia da margem direita do rio Ivaí, se impõe sobre material relacionado ao Arenito Caiuá e situa-se no município de Santa Izabel do Ivaí.

A estação de medidas situa-se no local denominado Barraco de Zinco (FIGURAS 3 e 6), ponto a montante do qual a bacia hidrográfica suporta, principalmente atividades agropastoris.

Um mapa de pendentes topográficas consta da FIGURA 6 que foi base para a TABELA 4.

— Bacia do Córrego Vinte e Um

Também no município de Santa Izabel do Ivaí e sobre a Formação Caiuá, o Córrego Vinte e Um tem na pecuária a atividade predominante em sua bacia.

As medidas fluviométricas, sedimentométricas

RIBEIRÃO DO RATO

ESCALA 1:100.000

EQUIDISTÂNCIA 40m

LEGENDA

- 280 — CURVA DE NÍVEL
- //— CURSO D'ÁGUA
- — — LIMITE DA BACIA
- LIMITE DA BACIA EFETIVA

GRADIENTES TOPOGRÁFICOS

- < 5%
- 5% a 10%
- 10% a 20%
- > 20%

FIGURA 05:- A BACIA DO RIBEIRÃO DO RATO COM UM MAPEAMENTO ESQUEMÁTICO DE SUAS PENDENTES TOPOGRÁFICAS E DELIMITAÇÃO DA ÁREA EFETIVA DA BACIA.

COMPARTIMENTO DA BACIA	ÁREA Km ²	TOTAL %	ÁREA Km ²	EFETIVA %
Bacia Total	60,06	100,0	24,11	100,0
c/pendente 5%	35,08	40,1	12,99	53,9
c/pendente de 5% a 10%	7,83	13,0	2,88	11,9
c/pendente de 10% a 20%	16,74	27,9	8,08	33,5
c/pendente 20%	0,41	0,7	0,15	0,6

TABELA 3 :- DISTRIBUIÇÃO SUPERFICIAL DE INTERVALOS DE PENDENTES TOPOGRÁFICAS DENTRO DA BACIA DO RIBEIRÃO DO RATO.

CÓRREGO HORÁCIO

ESCALA 1:100.000
EQUIDISTÂNCIA 40m

LEGENDA

- 280— CURVA DE NÍVEL
- >— CURSO D'ÁGUA
- >— LIMITE DA BACIA
- LIMITE DA BACIA EFETIVA

GRADIENTES TOPOGRAFICOS

- < 5%
- 5% a 10%

FIGURA 06:- A BACIA DO CÓRREGO HORÁCIO COM UM MAPEAMENTO ESQUEMÁTICO DE SUAS PENDENTES TOPOGRÁFICAS E DELIMITAÇÃO DA ÁREA EFETIVA DA BACIA.

COMPARTIMENTO DA BACIA	ÁREA Km ²	TOTAL %	ÁREA Km ²	EFETIVA %
Bacia Total	48,63	100,0	17,82	100,0
c/pendente infe rior a 5%	44,99	92,5	16,89	94,8
c/pendente de 5% a 10%	3,64	7,5	0,93	5,2

TABELA 4 :- DISTRIBUIÇÃO SUPERFICIAL DE INTERVALOS DE PEN
DENTES TOPOGRÁFICAS DENTRO DA BACIA DO CÓRREGO HORÁCIO.

e hidroquímicas se relacionaram ao local denominado Fazenda Vitória (FIGURAS 3 e 7).

Os gradientes topográficos médios da bacia, mapeados na FIGURA 7 estão quantificados na TABELA 5.

3.1.3. Outros Locais

Além dos dados relativos à bacia do rio Ivaí foram, neste estudo, empregadas informações dos arquivos da ARH, levantados em diversos pontos espalhados sobre a Formação Serra Geral e Caiuá, no Paraná e no Paraguai.

Foram utilizados dados químicos de águas sobre as formações mencionadas, nos locais anotados na FIGURA 8.

Os rios Arroio Guaçu no Oeste paranaense, Itabó, Itambey e Limoy, no Paraguai (FIGURA 3), forneceram algumas informações hidráulico-sedimentológicas e hidroquímicas empregadas neste trabalho, a título de comparação com os dados levantados na bacia do rio Ivaí.

O Arroio Guaçu tem sua bacia hidrográfica toda sobre material basáltico, situada no Oeste paranaense, submetida quase que totalmente a uma intensa ocupação agrícola.

Os rios Limoy, Itambey e Itabó, todos situados no Paraguai, desembocam no rio Paraná entre Guaíra e Foz do Iguaçu. Suas bacias se dispõem sobre substrato basáltico, exceto nas cabeceiras dos dois primeiros, que drenam sedimentos paleozóicos. Mais de noventa por cento do total das bacias dos três rios, se encontra coberta por vegetação florestal natural.

CÓRREGO VINTE e UM
ESCALA 1:100.000
EQUIDISTÂNCIA 50m

LEGENDA

- 250 — CURVA DE NÍVEL
- / / — CURSO D'ÁGUA
- — — LIMITE DA BACIA
- LIMITE DA BACIA EFETIVA

GRADIENTES TOPOGRÁFICOS

- < 5%
- 5% a 10%

FIGURA 07:- A BACIA DO CÓRREGO VINTE E UM COM MAPEAMENTO ESQUEMÁTICO DE SUAS PENDENTES TOPOGRÁFICAS E DELIMITAÇÃO DA ÁREA EFETIVA DA BACIA.

COMPARTIMENTO DA BACIA	ÁREA Km ²	TOTAL %	ÁREA Km ²	EFETIVA %
Bacia Total	36,29	100,0	21,37	100,0
c/pendente infe rior a 5%	30,99	85,4	17,83	85,5
c/pendente de 5% a 10%	5,30	14,6	3,53	16,5

TABELA 5 :- DISTRIBUIÇÃO SUPERFICIAL DE INTERVALOS DE PEN
DENTES TOPOGRÁFICAS DENTRO DA BACIA DO CÓRREGO VINTE E UM.

FIGURA 8

MAPA DE LOCALIZAÇÃO
PONTOS DE COLETA DE ÁGUAS
FORMAÇÃO SERRA GERAL E CAIUA

- 1 AMOSTRA
- 2 AMOSTRAS
- ▲ 3 AMOSTRAS
- MAIS DE 4 AMOSTRAS

LEGENDA GEOLÓGICA

- FORMAÇÃO CAIUA
- ▨ FORMAÇÃO SERRA GERAL
- FORMAÇÃO PALEOTRÓICA / PM BOTUCATU

CONVENÇÃO GRÁFICA

3.2. Determinações Hidráulico-Sedimentológicas

Os dados hidráulicos e sedimentológicos apresentados neste trabalho foram obtidos basicamente segundo as Normas e Recomendações Hidrológicas do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica do Ministério de Minas e Energia. As NRH do DNAEE visam uma padronização dos dados hidrológicos obtidos no Território Nacional, e são baseados nas normas norte americanas, internacionalmente aceitas.

3.2.1. Fluviometria

3.2.1.1. Dados de Campo

Os postos ou estações de medidas foram locados no coletor principal das bacias hidrográficas e selecionadas, em trecho aproximadamente retilíneo, com boas condições de escoamento.

Em cada estação selecionada, foi montada uma ou mais escalas limnimétricas graduadas em centímetros. O "zero" da escala foi cotado em relação a um RN. fixo no terreno.

Diariamente, às 7:00 horas um observador efetuava anotações da cota do nível da água em uma caderneta padronizada, recolhida mensalmente pela equipe de hidrometria da ARH.

Periodicamente, uma equipe composta por um hidrometrista e um auxiliar vistoriava as estações efetuando também medições de velocidade de água e de batimetria da secção de medidas, para posterior cálculo da va

zão líquida. Na ocasião foram executados nivelamentos das escalas limnimétricas.

O equipamento empregado nas medições de vazão foi composto basicamente por molinetes hidrométricos marca OTT modelo V ou marca Hidrologia modelo IH - 7 e um cronômetro.

Nas medições de vazão no Rio Ivaí foi utilizado um barco equipado com motor de pôpa de 25Hp. Nas sub-bacias, as medições de descarga foram efetuadas a vau.

3.2.1.2. Dados de Escritório

Com as velocidades, batimetrias e medições de nível de água efetuadas no campo e registradas em fichas adequadas foram feitas computações no escritório. Nas determinações de descarga líquida foi utilizado o processo dos trapézios, sendo empregado um computador IBM 1130 da UFP.

De posse dos dados de vazão e cota de água, foram confeccionadas curvas correlacionando estas duas variáveis. Posteriormente, por meio da curva ou equação correspondente, com as cotas diárias, se obteve um quadro de vazões médias diárias, mensais, trimestrais e anuais.

Nos casos em que, devido a alterações na geometria das secções não foi possível o estabelecimento de uma correlação cota—descarga adequada, a vazão média anual foi calculada pela média das descargas de cada medição efetuada no campo. Este procedimento foi confirmado como de razoável precisão.

3.2.2. Sedimentometria

3.2.2.1. Dados de Campo

Cada posto fluviométrico foi equipado com frascos de 1/2 litro para amostras e amostradores de sólidos em suspensão, modelos AMS - 1 e AMS - 2, no caso das sub-bacias e do rio Ivaí, respectivamente.

O observador das cotas de água, uma vez por dia, tomou amostras de sólidos em suspensão. As amostras foram efetuadas diariamente em três verticais simetricamente dispostas na secção de medidas, pelo processo de integração em toda a profundidade efetiva.

Por ocasião de cada visita da equipe de hidrometria, foi efetuada uma coleta detalhada de sólidos em suspensão para controle das medições sistemáticas. Na oportunidade, as amostras coletadas pelos observadores amostradores locais, eram conduzidas para o laboratório, juntamente com as planilhas dos dados de campo.

3.2.2.2. Dados de Laboratório

Chegadas do campo, as amostras acondicionadas nos próprios frascos de coleta, foram analisadas, sendo seguidas as seguintes etapas principais: determinação do volume total da amostra; filtragem das amostras em cadinho de Gooch; determinação do resíduo insolúvel; cálculo do teor em sólidos em suspensão em mg/l; preenchimento de planilhas de laboratório.

As planilhas de laboratório eram enviadas, junto com aquelas de campo, para processamento dos cálculos de descarga sólida no escritório.

3.2.2.3. Dados de Escritório

De posse das informações fluviométricas e dos dados sedimentométricos obtidos no laboratório, foram computados teores médios mensais, trimestrais e anuais de sólidos em suspensão e as respectivas vazões sólidas em termos de ton/ano, ton/Km²/ano, etc.

3.3. Determinações Químicas nas Águas

3.3.1. Coleta das Amostras

As amostras de águas foram coletadas, seguindo um procedimento adequado pré-estabelecido.

Para as amostragens foram utilizados garrafões de cinco litros, de polietileno, prêviamente lavados com água destilada no Laboratório. Antes de cada coleta, o garrafão foi enxaguado duas ou mais vezes, com a água do ponto de amostragem.

Após a última lavagem, o frasco foi imerso com a boca contra a corrente, permanecendo captando água a cerca de 10 centímetros da superfície, em um ponto no centro da secção de medidas fluvio-sedimentométricas. Cheio o garrafão, foi este tampado ainda imerso.

Foram tomados registros térmicos da água do rio quando da amostragem.

Coletadas e etiquetadas as amostras, foram as mesmas conduzidas o mais breve possível aos laboratórios da ARH em Curitiba. O tempo decorrido entre as coletas e a entrada das amostras no laboratório foi de um dia em média.

Durante algum tempo foram tomadas amostras duplas, sendo uma delas acidulada com ácido clorídrico. Os resultados obtidos para os cátions nas duas amostras não variou significativamente, motivo pelo qual passou-se a adotar uma amostragem simples, sem qualquer preservativo.

Por motivos técnicos não foi medido o pH no campo, sendo estas determinações feitas no laboratório tão logo as amostras lá davam entrada.

3.3.2. Análise Laboratorial das Amostras

Chegando ao laboratório, as amostras tiveram seu pH tomado em potenciômetro METHROM, sendo em seguida, determinadas as espécies dissolvidas, segundo métodos analíticos recomendados e detalhados no "STANDARD METHODS" (1971).

Nas determinações espectrofotométricas foram empregados Espectrofotômetro por emissão ou absorção atômica modelo VARIAN AA6; Espectrofotômetro Coleman modelo 6A; Espectrofotômetro Bausch & Lomb modelo Spectronic 70.

3.3.3. Cálculo de Escritório

De posse de dados de teores de espécies dissolvidas obtidos no laboratório, foi feito o balanço iônico entre cátions e ânions, sendo desprezadas as poucas análises que apresentaram diferenças de cargas superiores a 10%

Os dados das espécies dissolvidas foram en

tão plotados em diagramas de Piper e outros que serão a apresentados no decorrer deste trabalho.

Conjugados com dados de vazão líquida e de áreas das bacias hidrográficas, chegou-se a quadros de descargas totais ou específicas por tipo de espécie dissolvida, referente a bacias hidrográficas ou a regiões mais amplas.

Ainda através dos dados de análises químicas de águas efetuou-se cálculos de taxas de alteração de basaltos e caracterizou-se geoquimicamente as águas estudadas.

4. MOVIMENTO DE SÓLIDOS

Os minerais formadores das rochas, ao entrarem em contacto com o meio superficial, apresentam-se em desequilíbrio com as novas condições físico-químicas aí existentes. Através de transformações físicas e de reações químicas, evoluem em direção da obtenção do equilíbrio com as novas condições impostas pelo meio exógeno. Processos como intemperismo, pedogênese, erosão e sedimentação, são os responsáveis para que este equilíbrio seja alcançado.

Os átomos fazem parte da rede cristalina de um mineral, estando a ela vinculados segundo ligações mais ou menos intensas, conforme a natureza dos átomos e ou da estrutura. Consequentemente, uma estrutura mineral em colapso durante o intemperismo, libera seus elementos químicos constituintes, de acordo com a intensidade com que os mesmos são solidários entre si, isto é: a rêde cristalina se rompe segundo as ligações interatômicas mais lábeis na quelas condições ambientais.

Alterado um mineral, enquanto alguns de seus componentes liberados se estabilizam como compostos insolúveis, outros, principalmente os de potencial iônico baixo são incorporados pela hidrosfera, na forma solúvel.

A disponibilidade de um determinado elemento para incorporação na hidrosfera, depende de sua incompatibilidade com as estruturas residuais ou neoformadas na superfície. Este elemento, possuindo potencial químico mais baixo na forma solúvel do que incorporado a qualquer estru

tura estável, irá fazer parte da solução.

Os componentes em solução irão permanecer como tal até que variações no ambiente os incompatibilize com a forma solúvel, advindo uma precipitação, retirada da solução por ação de organismos, absorção, troca de bases, coprecipitação, etc.

Liberado, em solução da estrutura do mineral original, um componente químico poderá ser precipitado logo na vizinhança, ou sofrer um longo ou curto transporte pelas águas.

Como exemplo de precipitação rápida em ambiente aerado está o Fe^{+++} . Ele ocorre nos ferromagnesianos predominantemente como Fe^{++} que, tão logo o mineral é alterado, se libera e sofre oxidação para Fe^{+++} .

Elementos como o Na, o Ca e o Mg, permanecem um longo tempo em solução em condições de pH próximas à neutralidade.

A sílica e o K, na maioria das vezes se repartem entre a solução e a fase residual, onde se incorporam em minerais de argila, solidários ao Al, que é praticamente insolúvel.

Tanto a qualidade, como a quantidade de sólidos dissolvidos em uma água superficial qualquer, depende de fatores como: o tipo de rocha, da disponibilidade de água como meio de transporte e do clima que irá fornecer energia ao sistema.

Na região de estudo, mais especificamente na bacia do rio Ivaí, as principais fontes geradoras de sólidos dissolvidos são as rochas sedimentares da Sequência Pa

leozóica, da Formação Caiuá e principalmente as rochas básicas da Formação Serra Geral.

Seguindo a linha deste trabalho, será dada uma ênfase toda especial à hidrogeoquímica relacionada às rochas basálticas. Isto se justifica se levarmos em conta que estas rochas representam cerca de 55% da superfície da bacia do Ivaí e 53% da área do Estado do Paraná, além de serem rochas que, devido suas características químicas e mineralógicas, permitem a realização de estudos físico-químicos de grande interesse na determinação de balanços' geoquímicos.

Na área considerada, os basaltos possuem uma boa homogeneidade mineralógica e química, tornando até certo ponto cômodas, regionalizações de dados obtidos em bacias ou locais particulares apesar de que, em termos de bacia do Paraná, haja um zoneamento composicional relativamente importante (Ruegg. 1975).

As rochas da Formação Caiuá e da Sequência Paleozóica, devido à sua heterogeneidade, não têm um padrão muito definido em termos de composição química e mineralógica. Isto dificulta sobremaneira interpretações sobre o reflexo de seu quimismo no das águas percolantes. A pesar destes fatos, serão abordados alguns aspectos sobre águas do Caiuá e suas relações com as rochas daquela Formação.

Voltando ao contexto do transporte sólido global, quando a rocha, durante o processo supérgeno, é submetida à ação das águas superficiais, pode libertar uma fase que é transportada solubilizada e uma outra transportada insolubilizada.

O processo de movimentação de matéria em um

ambiente superficial pode ser simplifcadamente esquematizado como se segue:

Através da análise da fase dissolvida, pode-se estimar a quantidade de rocha alterada responsável pelo material transportado dissolvido e a velocidade do aprofundamento do manto de alteração. Já a fase insolubilizada fornece informações sobre o volume e a velocidade de material erodido, ou seja, sobre o arrasamento do manto de intemperismo. Não havendo um intercâmbio muito sensível de material entre as duas fases formadas, torna-se possível estimar a taxa relativa de aprofundamento do solo. Entretanto, nos

processos supérgenos isso nem sempre é possível pois podem existir diversos tipos de interação entre a fase insolubilizada e a fase dissolvida as quais alteram as composições qualitativas das mesmas. Dentre as interações podemos destacar as seguintes:

- Solubilização ou precipitação total ou parcial de minerais devido a alterações físico-químicas do meio.
- Adsorção de matéria solúvel pela fase insolúvel.
- Trocas iônicas entre as fases.
- Retirada de materiais solúveis por organismos.
- Fenômenos de coprecipitação.

A seguir será feita uma análise separada de cada uma das fases. Após um levantamento de características destas fases, serão feitas estimativas do transporte de sólidos na região estudada e será tentada uma contraposição das duas fases com o intuito de chegar-se a um balanço entre a erosão mecânica e a alteração química dos basaltos.

4.1. Fase Insolubilizada

4.1.1. Formação

O comportamento dos sólidos não dissolvidos é regido por três elementos básicos que são a erosão física, o transporte e a deposição de sedimentos, pela ação da chuva, do escoamento e da gravidade.

Estes sólidos são liberados do manto de intemperismo da rocha pela erosão, que se manifesta como erosão laminar e erosão linear, além da erosão vertical que ocorre durante a diferenciação pedogenética.

A erosão laminar é aquela que age sobre a superfície do solo desgastando-a com certa homogeneidade. Ela é a mais importante em escala de grandes áreas, causando grandes danos nos solos agricultáveis de zonas rurais.

A erosão linear pode levar à formação de pequenos sulcos no terreno ou evoluir até a formação de grandes vossorocas ou ravinas. Este tipo de erosão é mais comum onde a concentração de energia hídrica é maior, manifestando-se muito em zonas de ação antrópica mais intensa, originando-se em caminhos, estradas e principalmente, perto de núcleos urbanos.

A ação erosiva da água inicia no instante que a gota de chuva se choca com o terreno, provocando arrancamento e deslocamento de partículas terrosas. A ação mecânica do impacto da gota é provocada pela transferência de energia cinética acumulada pela mesma, de acordo com o seu diâmetro e velocidade.

A interação entre a gota e o solo, conduz a uma movimentação insconstante das partículas em diversas direções, sendo o saldo de uma área positivo para jusante. Areias finas são mais susceptíveis a um transporte por este processo de saltitação, podendo ser lançadas de uma só vez a cerca de 1,5 m de distância, enquanto que partículas de 2 mm podem se projetar a 40 cm e as de 4mm a 20 cm de distância (Christofoletti, 1974). W.D. Ellison calcula que uma precipitação de 100 mm pode movimentar mais de

300 t de solo por hectare e G.R. Free (in Christofolletti, 1974) estima um deslocamento de 15 ton./ha para uma chuva de 25 mm.

Naturalmente, a erosão pelo impacto de gôtas de chuva, varia conforme a constituição do solo e de acordo com o tipo de cobertura vegetal do mesmo.

A medida em que a precipitação excede a in filtração, passa a ser sentido o efeito do escoamento su perficial, que provoca, no início, a erosão laminar pro priamente dita. Este escoamento, no princípio difuso e for mado por pequenos filetes que se anastomosam, pode ser concentrado em linhas preferenciais e vão se incorporando durante a descida das encostas formando enxurradas. Estas enxurradas formam pequenos corpos de erosão linear que po dem evoluir até o estabelecimento de grandes vossorocas. Tais canais naturais suportam um fluxo de água com compe tência erosiva capaz de desgastar seu leito e margens e possuem energia para movimentar as partículas finas em suspensão e as mais grossas por saltitação e arraste de fundo. O sistema evolui até que seja alcançado um riacho ou tenha seu movimento interrompido.

A erosão é diretamente influenciada por dois grupos de fatores. Um grupo engloba os fatores relaciona dos às características da precipitação pluvial e outro, às variáveis relativas a aspectos físicos do terreno.

Dentre os fatores relacionados às precipita ções pluviais podem ser destacados a intensidade, a quan tidade e a distribuição.

O efeito da intensidade da chuva se eviden cia pelo fato de precipitações iguais em termos de volume terem efeitos erosivos diversos. Uma chuva concentrada e

rodirá mais do que um mesmo volume de água sendo precip
tado em um mais largo período de tempo sob as mesmas con
dições de terreno.

A quantidade de chuva é importante na medida
em que o terreno tem uma limitada capacidade de absorver
água.

A distribuição das chuvas tem sua importância
evidenciada no fato de que, principalmente em áreas culti
vadas, há uma variação durante o ano no tipo de proteção
a que o solo está submetido. Esta proteção será máxima na
época em que a vegetação for mais exuberante e mínima
quando o solo estiver sem cobertura vegetal.

Os mais importantes fatores relacionados a
características físicas do meio influentes no processo e
rosivo são: natureza do solo, relevo, declividade, compri
mento de rampa, cobertura vegetal e manejo do solo.

O tipo ou natureza do solo, compreendendo mi
neralogia, textura, estrutura e tipo de drenagem interna
do perfil, age diretamente na capacidade de infiltração
do terreno, influenciando no volume do escoamento superficial
e consequentemente na quantidade de material carregado du
rante a erosão. Solos argilosos são menos erodíveis do
que aqueles mais arenosos, devido à maior força de agrega
ção das partículas no primeiro, causada principalmente por
forças elétricas superficiais. A presença de colóides or
gânicos confere uma maior coesividade ao solo e consequen
temente uma maior resistência à erosão.

Declividade e comprimento de rampa, fatores
relacionados ao relevo, são fundamentais no processo ero
sivo, pois vão atuar sobre a energia das correntes de es
coamento superficial.

A declividade tem sua importância evidenciada pelo fato de seu aumento elevar a velocidade do escoamento superficial, conferindo a este uma maior energia para arraste de partículas.

Simultaneamente ao efeito da declividade, o comprimento de rampa também age sobre a velocidade da enxurrada.

Além dos fatores mencionados, também é fundamental o efeito da cobertura vegetal que, quanto mais exuberante for e quanto mais tempo cobrir o terreno, no decorrer de um ano, mais eficaz será sua proteção. A vegetação natural e culturas que não demandam de um denudamento parcial ou total do solo durante o ano, serão mais eficientes como dissipadores de energia hídrica superficial do que culturas sazonais e que demandam de capinas periódicas.

Paralelamente as culturas vegetais, são por demais importantes aspectos relacionados ao manejo do solo e a utilização ou não de práticas conservacionistas.

4.1.2. Quantificação

A quantificação dos sólidos hidrotransportados pode ser conduzida de duas maneiras distintas, que são as medidas de perda de sólidos fora das correntes de água e as determinações dos sólidos transportados pelos cursos de água. Ambas as abordagens do problema são importantes e complementares.

As determinações no solo dão uma visão particular de determinadas áreas sob condições específicas' de natureza e ocupação superficial e são estudadas por

agrônomos e pesquisadores do solo.

Já as medidas de vazão sólida nos cursos de água dão uma visão global do movimento de sólidos em uma bacia hidrográfica, sendo da competência da sedimentometria que é um campo desenvolvido pela hidrologia.

Enquanto a hidrologia estuda como, até onde e quanto sólido está sendo hidrotransportado por um rio, as ciências do solo dirão dos quinhões de sólidos referentes a áreas específicas da bacia hidrográfica.

4.1.2.1. Medidas Fora das Correntes de Água

Conhecidos de há muito, os problemas causados pela erosão do solo, principalmente em zonas agrícolas, muitas pesquisas foram feitas com o objetivo de se conhecer melhor as interrelações entre os fatores que determinam a taxa de erosão, em uma área de terra particular, para neutralizá-los na medida do possível. Dentre os primeiros que estudaram o assunto situa-se Cook(1936) que analisou os fatores fundamentais envolvidos em um processo erosivo e desenvolveu uma metodologia prática com o objetivo de proteger o solo.

Quem primeiro conferiu a importância devida à energia da queda das gotas de água e do escoamento superficial no trabalho erosivo foram Law e Parsons(1941-1943).

Os trabalhos de Meyer e Wischmeier (1969), vinculados à Secretaria de Agricultura dos Estados Unidos, apresentam um modelo matemático de erosão, onde são combinados adequadamente os fatores básicos e suas interrelações a partir de dados obtidos nas quatro décadas passadas.

Meyer (1970) e Wischmeier (1973), apresentam uma ferramenta atualmente muito útil e empregada na análise e controle da erosão, que é a "Equação Universal de Perda de Solo", um modelo empírico baseado em mais de 10.000 análises.

A "Equação Universal de Perda de Solo", empregada sob formas diferentes, tem como mérito principal ser uma técnica simples para a predição das mais prováveis taxas de perda de solo em situações específicas.

A Equação $qs = RKLSC$, expressa a taxa de erosão de solo em toneladas por acre por período de tempo (qs) como produto dos fatores relativos à: pluviosidade (R), erodibilidade do solo (K), comprimento-pendente (L,S) e práticas conservacionistas (C)-(Parsons et alii 1975).

Em termos nacionais o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) tem desenvolvido muitas pesquisas de perdas de solo.

No Paraná, o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA) tem executado estudos de avaliação e tentativas para atenuar o processo erosivo diretamente no solo.

O efeito de diversos fatores sobre as perdas de solo, levantadas pelo IAC, IAPAR e USDA, obtidos em Mondardo et alii (1977), pode ser exemplificado nas tabelas que se seguem:

TIPO DE SOLO	PERDA DE SOLO ton/ha
Arenoso	21,1
Argiloso	16,6
Bem Argiloso (Terra Roxa)	9,5

TABELA 6:- Perdas de solo por erosão relaciona
das a diferentes tipos de solo. Pluviosidade mē
dia de 1.300 mm e declives entre 8,5 e 12,8%
(IAC).

DECLIVE	PERDA DE SOLO ton/ha
7 (1)	14,1
10	22,4
12	27,4
2 (2)	26,2
4	75,1
8	148,2
12	180,9

TABELA 7:- Perdas de solo por erosão, relativas
a diferentes gradientes topográficos e culturas
(1) IAC - algodão (2) - milho.

COMPRIMENTO DE RAMPA		PERDAS DE SOLO ton/ha
25	(1)	13,0
50		19,9
100		32,5
48	(2)	21,3
96		45,1
192		81,2
11	(3)	97,4
28		136,4

TABELA 8:- Perdas de solo por erosão relativas a diferentes comprimentos de rampa, sendo os mesmos tipos de solo. (1) IAC - (2) USDA - (3) IAPAR.

TIPO DE CULTURA	PERDAS DE SOLO ton/ha
mamona	41,5
arroz	25,1
algodão	24,8
soja	20,1
milho	12,0

TABELA 9:- Perdas de solo por erosão por efeito do tipo de cultura em determinado tipo de solo. Pluviosidade média de 1.300 mm e declividade entre 8,5 e 12,8% (IAC).

USO DO SOLO	PERDAS DE SOLO ton/ha
mata	0,004
pasto	0,4
cafezal	0,9
algodoal	26,6

TABELA 10:- Perdas de solo por erosão por efeito da cobertura vegetal em determinado tipo de solo (IAC).

4.1.2.2. Medidas dentro das correntes de água

Quando os sólidos arrancados da superfície' pela ação mecânica da chuva e do escoamento superficial alcançam os riachos e rios, passam a ter seu comportamento comandado pelas leis da hidrologia.

Como já foi visto anteriormente, os sólidos podem ser hidrotransportados em suspensão durante todo o movimento, por saltitação e por arraste de fundo. O limite granulométrico entre estes tipos de transporte é ditado principalmente pela velocidade da corrente hídrica.

Daqui por diante a expressão arraste de fundo compreenderá também aquele material transportado por saltitação.

Na maioria dos rios, os sólidos transportados em suspensão são constituídos principalmente por argilominerais e outros materiais situados fundamentalmente nas frações granulométricas inferiores ao silte médio.

O material cuja dimensão situa-se em torno da faixa da areia é transportado por arraste de fundo.

Enquanto a medida de sólidos em suspensão é relativamente fácil e precisa, avaliações da descarga de fundo são muito mais onerosas e imprecisas, pelos métodos convencionais.

Os métodos convencionais de medida da descarga de fundo são em sua maior parte baseados em fórmulas e modelos empíricos, não podendo ser indiscriminadada

mente empregados em condições que não reproduzam relativamente bem aquelas dos locais onde os modelos foram aferidos.

Medições convencionais diretas de descarga de fundo são difíceis e pouco práticas em muitos casos, uma vez que não é fácil proceder coletas significativas de material de arrasto dentro dos rios.

A dificuldade de medições diretas ficou sensivelmente diminuída com o advento das técnicas radioisotópicas. Segundo estas técnicas, amostras de sedimentos do rio podem ser marcadas com traçadores radioativos e devolvidos ao leito do rio onde, ao acompanharem o sedimento em seu deslocamento, possibilitam uma avaliação efetiva do movimento do material de fundo.

4.2. Fase Dissolvida

4.2.1. Formação

Os sólidos dissolvidos são movimentados em solução através de dois mecanismos básicos que são o escoamento superficial e o subterrâneo.

Durante períodos de chuvas, quando a quantidade de água disponível excede a capacidade de infiltração do solo, a água que rola sobre a superfície do terreno carrega em solução uma certa quantidade de espécies solúveis, destacadas das camadas superficiais do manto de intemperismo, que poderão alcançar um curso de água.

Aquela parte do ciclo hidrológico corresponde

dente a água infiltrada é, em geral, o maior veículo de espécies dissolvidas na natureza, excessão feitas as águas oceânicas, magmáticas e salmouras. A maior concentração em sais dissolvidos deve-se ao contacto mais íntimo que esta água sofre com o material sólido do solo e subsolo. Durante o percurso vertical das águas infiltradas, até alcançar o freático, espécies dissolvidas vão sendo transportadas, podendo ser armazenadas por tempos variáveis nos aquíferos subterrâneos, ou chegar rapidamente aos cursos de água superficiais, através do escoamento de base.

Além da constituição geológica superficial dos terrenos, a topografia influi sensivelmente nos sólidos dissolvidos. Em zonas mais acidentadas, o escoamento superficial e sub-superficial é mais rápido, havendo tendência a um menor contacto entre a água e as rochas percoladas.

4.2.2. Quantificação

As espécies dissolvidas deslocadas de perfis de alteração, dentro de uma determinada bacia hidrográfica, podem ser quantificadas através de medidas diretas na água ou através de estudos químicos da fase residual, em comparação com a rocha original.

Avaliações da movimentação de sólidos dissolvidos, dentro de perfis de solo, podem ser procedidas através dos métodos iso-elemento ou, em casos de conservação de volume durante a alteração, do método iso-volume, proposto por Millot et Bonifas (1955). Estes métodos na realidade, são mais empregados nos estudos da alteração, visando principalmente os materiais residuais inso-

lúveis. São também usados os índices de alteração K_i , e K_r e a percentagem de alteração, que podem fornecer in formações sobre a fase dissolvida correlata.

Todos os métodos envolvendo apenas a análise das fases residuais de um processo intempérico, apresentam uma limitação importante, principalmente quando de seu emprego na previsão da composição de águas percolantes. Esta limitação reside na possibilidade de um determinado perfil de alteração haver sido submetido a diferentes condições de alteração durante seu estabeleci-
mento.

Através da análise das águas percolantes, em equilíbrio com o material do perfil, pode-se ter um conhecimento razoável das condições de alteração durante seu estabelecimento.

Coletas para análise da fase dissolvida, podem ser efetuadas nos diversos locais onde as águas estão disponíveis, principalmente em corpos de águas superficiais, fontes, lencóis subterrâneos, etc, conforme o objetivo do estudo. Se o objetivo é determinar o tipo de alteração ao qual a rocha está sujeita, deve-se analisar águas que, de fato, estejam ou tenham estado em contacto íntimo com a rocha. Se o objetivo é apenas um inventário das características físico-químicas da água, análises químicas bastam. Caso se queira avaliar o transporte de material em solução movimentado em uma determinada secção de um curso de água, além das análises químicas, são imprescindíveis dados de descarga líquida.

A composição química de uma água não é estática, ou seja, muda conforme variações físico-químicas do meio, da litologia, e do nível de atividade orgânica.

Para se prever a variação na composição química de uma determinada água ou de materiais em equilíbrio, mister se faz um estudo termodinâmico dos equilíbrios químicos envolvendo minerais primários, secundários e águas. Estudos deste tipo foram desenvolvidos por Tardy(1969), Garrels (1969), Fritz (1975) e outros.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Estudo da Fase Insolubilizada na Bacia Hidrográfica do Ivaí

Nos solos gerados sobre um substrato basáltico, a erosão laminar fagocita o capeamento edáfico, nutrindo os cursos de água de materiais sólidos em suspensão, hidrotransportados predominantemente na fração argila. Já, nos solos desenvolvidos sobre os depósitos supra - basálticos, arenosos da Formação Caiuá, é frequente, além da erosão laminar, a erosão linear, provocando desde pequenos sulcos até ravinamentos muito profundos e extensos. Estes corpos de erosão fornecem aos cursos de água, sólidos que vão desde a fração areia até a argila e alguns seixos eventuais. Os sólidos mais finos sofrem transporte em suspensão e os mais grosseiros, abundantes também, são movimentados por arraste de fundo.

Estes dois tipos de solo apresentam características agronômicas bastante diferentes, o que provoca uma utilização agrícola muito diversa. Sobre os solos desenvolvidos a partir dos basaltos, implantou-se uma agricultura intensiva baseada no café e soja-trigo. Nos solos derivados dos sedimentos relacionados ao Caiuá, desenvolveram-se grandes áreas de pastagens artificiais, pois se tratam de solos pobres em elementos nutrientes e praticamente desprovidos de argilo-minerais para fixá-los por meio de adubações e correção.

As pastagens, pelo fato de não exigirem processos de aração e revolvimento anual, protegem o solo da

mesma forma no decorrer de todo o ano. Por outro lado, as características físicas dos solos sobre a Formação Caiuã facilitam sobremaneira a ação erosiva, porém esta se desenvolve com intensidades proporcionais aos índices pluviométricos. Já nos solos formados sobre os basaltos, a intensa utilização agrícola, feita sobretudo com culturas sazonais, promove o desenvolvimento de uma proteção heterogenea, que varia durante o ano. Desta forma, os efeitos erosivos variam não só com as chuvas, mas também com os períodos de preparo do solo.

Um outro aspecto que diferencia a erosão e transporte de sólidos por águas superficiais de rios sobre basaltos e sobre os depósitos supra-basálticos arenosos é a erosão da calha dos rios. Os rios sobre terrenos basálticos, geralmente correm diretamente sobre lages desta rocha, sendo pequena a erosão física do leito, havendo abrasão apenas na parte das margens, onde existe material alterado.

Já, os rios que correm sobre formações arenosas apresentam uma intensa movimentação de sólidos originados de sua própria calha, esculpida em sedimentos pouco resistentes à ação erosiva de suas águas.

Um exemplo que dá uma razoável idéia da dinâmica histórica do movimento de sólidos nas bacias dos rios sobre formações arenosas na área do Caiuã, desde o início de sua ocupação antrópica, pode ser observado no Rio do Rato, próximo à secção de medidas.

A FIGURA 9 ilustra a evolução do perfil do Ribeirão do Rato desde quando a bacia era totalmente coberta por florestas naturais até o presente, quando o pasto e a agricultura passaram a dominar a região. As informações foram obtidas através de observações no local

FIGURA 9. - EVOLUÇÃO DE UMA SECÇÃO DO RIBEIRÃO DO RATO DESDE QUANDO A BACIA HIDROGRÁFICA ERA COBERTA POR FLORESTAS ATÉ A SITUAÇÃO ATUAL. ESQUEMA MONTADO A PARTIR DE OBSERVAÇÕES NO LOCAL E INFORMAÇÕES DE ANTIGOS HABITANTES DA REGIÃO.

e informações de antigos habitantes.

Quando a floresta cobria a bacia, o ribeirão possuía um talvegue íngreme, encaixando-se em rocha arenítica e um tanto calcífera da Formação Caiuá, sem haver grande acúmulo de sedimentos arenosos em seu leito (FIGURA 9-I). Houve então um intenso desmatamento seguido de plantio de café. O café, sendo cultura que demanda de capinas periódicas entre as carreiras, confere à superfície uma grande desproteção. Neste período, houve uma erosão muito violenta na bacia hidrográfica, que provocou uma intensa colmatação do leito do rio (FIGURA 9-II). Em pouco tempo, o solo perdeu sua fertilidade, tornando-se inviável à cultura cafeeira. O café foi erradicado, cedendo lugar a pastagem, que como foi mencionado anteriormente, protege o solo de forma mais efetiva que o café. Atualmente o rio esculpe seu leito sobre os sedimentos da fase anterior (FIGURA 9-III), carregando muito do material arenoso acumulado.

5.1.1. Aspectos Hidráulico-Sedimentológicos

Na secção flúvio-sedimentométrica do Novo Porto Taquara, no rio Ivaí, foram realizadas até dezembro de 1977, cerca de 59 medições de vazão e 734 coletas e análises de sólidos em suspensão.

A partir destes dados chegou-se a um quadro trimestral de vazões líquidas e sólidas, em que são comparadas a vazão específica média, a concentração de sólidos dissolvidos, e a vazão sólida específica em suspensão (TABELA 11).

Se bem que os efeitos de chuvas caídas em

PERÍODO	VAZÃO LÍQUIDA ESPECÍFICA	CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO	VAZÃO SÓLIDA ESPECÍFICA EM SUSPENSÃO
TRIMESTRES	1/s/Km ²	mg/l	ton/Km ² /ano
JANEIRO			
FEVEREIRO	26,62	95,0	19,7
MARÇO			
ABRIL			
MAIO	15,15	67,0	8,0
JUNHO			
JULHO			
AGOSTO	13,30	49,7	5,2
SETEMBRO			
OUTUBRO			
NOVEMBRO	28,89	261,0	57,6
DEZEMBRO			
MÉDIA OU TOTAL ANUAL	20,79	118,0	77,4

TABELA 11:- DADOS FLUVIO-SEDIMENTOMÉTRICOS TRIMESTRAIS MÉDIOS LEVANTADOS EM 1975, 1976 E 1977 PARA A ESTAÇÃO DE MEDIDAS DO " NOVO PORTO TAQUARA ".-

diferentes compartimentos da bacia hidrográfica e sob distribuição temporal variável, não se manifestem de maneira igual, em termos de sólidos em suspensão, o papel da precipitação é bastante caracterizado frente aos sólidos transportados.

O maior volume de sólidos transportados pelo Ivaí é em suspensão. Este transporte, cerca de 100 ton/ano/Km², é inferior à capacidade de transporte do rio, sendo portanto, regulado pela alimentação a partir da superfície da bacia hidrográfica. Com base na FIGURA 10 se observa que, com o aumento da vazão há, de início, um acréscimo sensível na concentração de sólidos suspensos. A taxa de acréscimo dos sólidos é atenuada quando os valores superam a 200 mg/l. Tal comportamento é compreensível, pois a curva tende a se estabilizar na horizontal na medida em que a concentração de sólidos se aproxima da capacidade de transporte do rio. Por este motivo, atualmente, o Ivaí não deposita sedimentos formando depósitos aluvionares, sendo toda sua carga de sólidos hidrotransportados até o rio Paraná.

A curva média "Concentração de Sólidos" vezes a "vazão" apresenta uma grande dispersão de pontos, para o que diversos fatores podem contribuir. Dentre estes fatores, alguns são de difícil equacionamento; estágio de desenvolvimento de um rio, amostragem não representativa, uso e manejo do solo, chuvas variáveis durante o ano e contribuição variável conforme o compartimento geológico da bacia, etc. Não foi feito um ajuste melhor da curva porque o mesmo exige um tratamento hidrológico detalhado, o que fugiria dos objetivos deste trabalho.

Como foi mencionado anteriormente, quando o solo está sendo preparado para receber culturas sazonais e quando estas estão iniciando seu ciclo de crescimento,

FIGURA 10:- VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO COM VAZÃO DO RIO IVAÍ, NA ESTAÇÃO DO NOVO PORTO TAQUARA.

há uma tendência de aumento no transporte de sólidos nos rios da região. Esta tendência é muito mais acentuada, se naquelas épocas ocorrer uma grande concentração pluviométrica, como pode ser observado na TABELA 12, nos meses de Outubro, Novembro e Dezembro. Isto será mais caracterizado no âmbito da bacia do Córrego Jacutinga, toda sobre basaltos onde maior é a utilização agrícola dos solos.

Quanto aos sólidos arrastados pelo fundo, não analisados com mais detalhe neste trabalho, são eles originados em sua maior parte dos depósitos supra-basálticos arenosos e o restante da Formação Botucatu e dos níveis arenosos da Sequência Paleozóica.

O compartimento basáltico da bacia do Ivaí, tem neste trabalho sua representação estabelecida em grande parte através do Córrego Jacutinga.

Neste Córrego, foram efetuadas entre janeiro de 1975 e dezembro de 1977, 77 medições de vazão e 768 coletas e análises de sólidos em suspensão. A TABELA 12, sumariza os dados fluvio-pluvio-sedimentométricos médios obtidos em 1975, 1976 e 1977.

Sendo o basalto uma rocha composta fundamentalmente por minerais altamente suscetíveis à decomposição química, seus produtos residuais de alteração situam-se predominantemente na fração silte e argila, sendo uma parte desprezível disponível para transporte por arraste.

O transporte de sólidos no quarto trimestre é o maior do ciclo anual, sendo mais de oito vezes superior ao do primeiro trimestre que é o segundo em magnitude. Na época do outono e inverno, mais ou menos correspondendo ao segundo e terceiro trimestres, o transporte

PERÍODO	VAZÃO LÍQUIDA	CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO	VAZÃO SÓLIDA ESPECÍFICA EM SUSPENSÃO	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
TRIMESTRES	l/s/Km ²	mg/l	ton/Km ² /ano	mm
JANEIRO				
FEVEREIRO	32,51	15,68	16,08	145,2
MARÇO				
ABRIL				
MAIO	21,39	7,07	4,77	85,2
JUNHO				
JULHO				
AGOSTO	19,50	14,06	8,65	71,9
SETEMBRO				
OUTUBRO				
NOVEMBRO	22,34	209,32	147,49	201,6
DEZEMBRO				
MÉDIA OU TOTAL ANUAL	23,93	61,53	46,34	504,6

TABELA 12:- DADOS FLUVIO-PLUVIO-SEDIMENTOMÉTRICOS TRIMESTRAIS ' MÉDIOS LEVANTADOS EM 1975, 1976 E 1977 NA ESTAÇÃO DE MEDIDAS ' DO " SÍTIO OURO VERDE " NO CÓRREGO JACUTINGA.

de sólidos é sensivelmente menor. A FIGURA 11 representa graficamente os dados médios mensais ano por ano de 1975 a 1977.

Sendo os solos basálticos bastante mais empregados para práticas agrícolas do que os gerados sobre o Caiuã ou Sequência Paleozóica, é justificável que as disparidades na distribuição anual do transporte de sólidos seja maior na região basáltica do que na bacia hidrográfica do rio Ivaí em termos globais.

A variação temporal da concentração de sólidos em suspensão, da pluviosidade medida na Estação do Córrego Jacutinga e das descargas específicas (FIGURA 11), bem representam a interrelação entre estes parâmetros e principalmente a influência da pluviosidade e da época do ano no transporte de sólidos. Nos períodos outubro - novembro de 1974, novembro-dezembro de 1975 e em dezembro de 1976, foram alcançados os maiores índices de sólidos em suspensão do córrego. Tais períodos coincidem com o preparo da terra, plantio e início de crescimento da soja e outras culturas de verão, ocasião em que o solo apresenta-se desprotegido, pois é submetido a um manejo geralmente deficiente.

O Jacutinga, sendo um curso de água de pequena magnitude, não apresenta uma erosão muito grande, de seu leito e margens, o que não acontece com os rios de maior porte. Este aspecto contribui para que aqueles rios maiores possuam um nível mínimo em termos de concentração de sólidos suspensos bastante mais elevado, como é o caso do Arroio Guaçu, por exemplo.

O rio Arroio Guaçu é aqui empregado como re

FIGURA 11:- VARIAÇÃO MENSAL DA PLUVIOSIDADE, CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO E VAZÃO LÍQUIDA NO CÓRREGO JACUTINGA, OBSERVADA NA ESTAÇÃO DO SÍTIO OU RO VERDE, EM 1975, 1976 E 1977.

ferência para comparação com os dados levantados na bacia do Ivaí. Sua bacia hidrográfica, situada toda sobre terrenos basálticos, localiza-se no Oeste paranaense e tem uma extensão de 10 Km^2 (FIGURA 3). A agricultura é extensamente praticada em sua superfície e é baseada atualmente nos mesmos tipos de cultura e manejo do que na região do córrego Jacutinga. A TABELA 13 e a FIGURA 12 sumarizam os dados hidráulico-sedimentológicos obtidos durante o ano de 1977 naquele rio.

Ainda a título de referência, como representante de rios possuindo bacias hidrográficas inteiramente sobre basaltos e cobertas quase que totalmente por manto florestal, temos o exemplo do rio Itabó. Este rio tem sua bacia hidrográfica com 902 Km^2 , situada na margem direita do trecho do rio Paranã, compreendido a jusante de Guaíra e montante de Foz do Iguaçu (FIGURA 3). Representa talvez, a situação primitiva dos rios sobre basalto da bacia do Ivaí e do Oeste paranaense, a cerca de quarenta anos passados. Por outro lado, estes últimos talvez espelhem a situação futura dos rios paraguaios, se medidas de controle do desmatamento não forem tomadas. A TABELA 14 e a FIGURA 13, contêm os dados médios obtidos em 1977 pela ARH naquele rio.

Observa-se na última figura citada, que as concentrações de sólidos dissolvidos no Itabó são muito menos influenciadas pela variação da intensidade pluviométrica do que nas bacias totalmente desmatadas, evidenciando o caráter regulador das florestas.

De todos estes aspectos, se pode ter uma visão da influência de fatores como: pluviosidade, porte da bacia hidrográfica, cobertura florestal e agricultura,

PERÍODO	VAZÃO LÍQUIDA m^3/s	CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO mg/l	PRECIPITAÇÃO PLUVIONÉTRICA mm
JULHO	12,1	33,34	12,9
AGOSTO	9,4	15,00	56,1
SETEMBRO	9,4	16,04	88,2
OUTUBRO	6,3	17,42	25,2
NOVEMBRO	10,1	101,64	288,4
DEZEMBRO	22,8	465,05	225,3
JANEIRO	13,6	35,42	57,3
FEVEREIRO	10,3	23,10	49,2
MARÇO	9,0	22,54	50,8
ABRIL	6,9	10,79	0,0
MAIO	7,4	9,63	25,1
JUNHO	5,3	10,14	22,5
MÉDIA OU TOTAL ANUAL	10,2	63,34	901,0

TABELA 13:- DADOS FLUVIO-PLUVIO-SEDIMENTOMÉTRICOS MENSAIS ,
MÉDIOS LEVANTADOS DE JULHO DE 1977 A JUNHO DE 1978 NO RIO
ARROIO GUAÇU.

FIGURA 12:- VARIAÇÃO MENSAL DA PLUVIOSIDADE, CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO E VAZÃO LÍQUIDA NO RIO ARROIO GUAÇÚ, OBSERVADA EM 1977.

PERÍODO	VAZÃO LÍQUIDA m ³ /s	CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO mg/l	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA mm
JULHO	4,0	11,64	25,2
AGOSTO	3,8	14,14	128,8
SETEMBRO	5,4	25,98	97,6
OUTUBRO	5,7	32,82	111,2
NOVEMBRO	12,5	34,36	287,1
DEZEMBRO	18,8	24,92	213,6
JANEIRO	12,6	20,75	84,7
FEVEREIRO	8,8	12,51	77,6
MARÇO	7,3	18,09	91,4
ABRIL	3,8	9,53	6,5
MAIO	3,1	4,21	59,6
JUNHO	3,5	7,68	117,1
MÉDIA OU TOTAL ANUAL	7,4	18,05	1.300,4

TABELA 14:- DADOS FLUVIO-PLUVIO-SEDIMENTOMÉTRICOS MENSIS MÉDIOS LEVANTADOS DE JULHO DE 1977 A JUNHO DE 1978 NO RIO ITABÓ.

FIGURA 13:- VARIAÇÃO MENSAL DA PLUVIOSIDADE, CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO E VAZÃO LÍQUIDA NO RIO ITABÓ, OBSERVADA EM 1977.

no transporte de sólidos suspensos em áreas basálticas do território paranaense.

A área dos solos derivados dos arenitos da Formação Caiuã é representada pelas sub-bacias dos Córregos Vinte e Um, Horácio e Ribeirão do Rato.

As bacias dos dois primeiros córregos tem sua ocupação antrópica baseada principalmente na pecuária de corte. A maior parte das bacias é coberta por pastagens artificiais, enquanto que o Ribeirão do Rato tem sua bacia suportando atividades agrícolas sazonais como soja e algodão, e perenes como o café além da pecuária. Para a carga de sólidos transportada pelo ribeirão e detectada na estação de medidas, muito contribui a erosão urbana da cidade de Rondon, situada a montante do posto.

Os dados hidráulico-sedimentológicos considerados neste trabalho, para os córregos Horácio, Vinte e Um e Ribeirão do Rato, foram baseados em: 75, 85 e 76 medições de vazão no córrego Horácio, 85 no Vinte e Um e 76 no Ribeirão do Rato; 839, 764 e 773 coletas e análises de sólidos em suspensão no córrego Horácio, 764 no Vinte e Um e 773 no Rato, respectivamente. Dentro de cada uma de suas bacias foram tomados dados pluviométricos diários.

As TABELAS 15, 16 e 17, contém os dados fluvio-pluvio-sedimentométricos médios obtidos trimestralmente entre 1975 e 1977.

A representação gráfica dos dados médios supra-citados, dos córregos Horácio e Ribeirão do Rato, es

PERÍODO	VAZÃO LÍQUIDA ESPECÍFICA	CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO	VAZÃO SÓLIDA ESPECÍFICA EM SUSPENSÃO	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
TRIMESTRES	1/s/Km ²	mg/l	ton/Km ² /ano	mm
JANEIRO				
FEVEREIRO	11,50	29,70	10,77	11,4
MARÇO				
ABRIL				
MAIO	11,22	27,82	9,84	98,2
JUNHO				
JULHO				
AGOSTO	11,05	34,40	11,99	78,9
SETEMBRO				
OUTUBRO				
NOVEMBRO	11,44	45,97	16,59	163,4
DEZEMBRO				
MÉDIA OU TOTAL ANUAL	11,28	34,47	12,26	451,9

TABELA 15:- DADOS FLUVIO-PLUVIO-SEDIMENTOMÉTRICOS TRIMESTRAIS MÉDIOS, LEVANTADOS EM 1975, 1976 E 1977 NA ESTAÇÃO DE MEDIDAS DO " BARRACO DE ZINCO " NO CÓRREGO HORÁCIO.

PERÍODO	VAZÃO LÍQUIDA ESPECÍFICA	CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO	VAZÃO SÓLIDA ESPECÍFICA EM SUSPENSÃO	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
TRIMESTRES	l/s/Km ²	mg/l	ton/Km ² /ano	mm
JANEIRO				
FEVEREIRO	25,87	186,7	152,3	184,0
MARÇO				
ABRIL				
MAIO	22,41	105,0	74,2	69,2
JUNHO				
JULHO				
AGOSTO	22,27	72,0	50,6	161,2
SETEMBRO				
OUTUBRO				
NOVEMBRO	25,92	168,2	137,5	125,2
DEZEMBRO				
MÉDIA OU TOTAL ANUAL	24,12	133,0	103,6	539,6

TABELA 16:- DADOS FLUVIO-PLUVIO-SEDIMENTOMÉTRICOS TRIMESTRAIS MÉDIOS LEVANTADOS EM 1975, 1976 E 1977, NA ESTAÇÃO DE MEDIDAS DA " FAZENDA VITÓRIA " NO CÓRREGO VINTE E UM.

PERÍODO	VAZÃO LÍQUIDA	CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO	VAZÃO SÓLIDA ESPECÍFICA EM SUSPENSÃO	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
TRIMESTRES	l/s/Km ²	mg/l	ton/Km ² /ano	mm
JANEIRO				
FEVEREIRO	27,95	342,97	302,34	147,0
MARÇO				
ABRIL				
MAIO	24,31	366,28	280,84	96,1
JUNHO				
JULHO				
AGOSTO	21,15	286,08	190,84	79,8
SETEMBRO				
OUTUBRO				
NOVEMBRO	25,54	224,30	180,68	198,7
DEZEMBRO				
MÉDIA OU TOTAL ANUAL	24,74	304,91	238,11	521,6

TABELA 17:- DADOS FLUVIO-PLUVIO-SEDIMENTOMÉTRICOS TRIMESTRAIS MÉDIOS LEVANTADOS EM 1975, 1976 E 1977 NA ESTAÇÃO DE MEDIDAS DO " POÇO ARTESIANO " NO RIBEIRÃO DO RATO.

tão nas FIGURAS 14 e 15.

Os dados apresentados caracterizam de forma bastante clara, que os sólidos em suspensão variam em níveis sensivelmente mais elevados do que no Jacutinga.

Em alguns casos, parece que a concentração de sólidos dissolvidos acompanha melhor a curva de vazão como é o caso do Ribeirão do Rato. No Córrego Horácio a concentração de sólidos suspensos se correlaciona melhor com a pluviosidade, pois sua vazão varia muito menos do que no caso anterior.

O Córrego Horácio e Vinte e Um, são muito semelhantes em termos de litologia e ocupação superficial, enquanto que o Ribeirão do Rato tem sua bacia imposta sobre um arenito um pouco diferente daquele das bacias dos outros dois e suporta atividades antrópicas mais intensas. Estes aspectos contribuem bastante para que o Rato transporte mais sólidos em suspensão.

As FIGURAS 5, 6 e 7 representam mapas esquemáticos aproximados de pendentes topográficas das bacias dos Rato, Horácio e Vinte e Um, e sua distribuição areal consta das TABELAS 3, 4 e 5. O Ribeirão do Rato é o que apresenta a área de sua bacia mais acidentada, vindo em seguida o córrego Vinte e Um, ficando o Horácio por último.

A dependência da concentração de sólidos suspensos em relação à topografia, é fortemente sugerida na FIGURA 16, representando a variação da vazão sólida específica com a área da bacia hidrográfica com pendentes médias si

FIGURA 14:- VARIAÇÃO MENSAL DA PLUVIOSIDADE, CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO E VAZÃO LÍQUIDA NO CÓRREGO HORÁCIO, OBSERVADA EM 1975, 1976 E 1977.

FIGURA 15:- VARIAÇÃO MENSAL DA PLUVIOSIDADE, CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO E VAZÃO LÍQUIDA NO RIBEIRÃO DO RATO, OBSERVADA NA ESTAÇÃO DO POÇO ARTESIANO EM 1975, 1976 E 1977.

PERCENTAGEM DAS BACIAS COM GRADIENTES TOPOGRÁFICOS MÉDIOS ENTRE 5% E 20%.

FIGURA 16:- VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO COM AS PENDENTES, OBSERVADA NOS CÓRREGOS HORÁCIO, VINTE E UM E RIBEIRÃO DO RATO.

tuadas entre cinco e vinte por cento. A despeito de ou tros fatores contribuírem para que o Ribeirão do Rato a presente cargas maiores de sólidos suspensos é inegável a grande influência da topografia.

Gráficos de frequência de intervalos de con centração também refletem a influência da topografia nos sólidos transportados (FIGURAS 17, 18 e 19).

Dos três cursos de água considerados no Are nito Caiuã, o Horácio é o que menos transporta sólidos em suspensão, apresentando no período de estudos uma vazão específica média de $12,57 \text{ l/s/Km}^2$ e a grande maioria das amostras com teores de sólidos em suspensão inferiores a 100 mg/l .

Com uma vazão específica média de $24,14 \text{ l/s/Km}^2$, o córrego Vinte e Um apresenta uma maior frequên cia de concentrações entre zero e 50 miligramas por li tro. Ocorrem muitas análises com valores até trezentos mi ligramas por litro, sendo raras aquelas com mais de qua trocentos e cinquenta miligramas por litro.

No Ribeirão do Rato, vazão específica mēdia de $22,10 \text{ l/s/Km}^2$, o maior número de análises se agrupa na classe de concentrações que vai de 150 mg/l até 200 mg/l e são relativamente poucas as análises que revelam teores superiores a 700 mg/l .

Sumarizando o que foi visto neste capítulo, têm-se uma região imposta sobre diferentes compartimen tos geológicos, cada um apresentando características pró prias em termos de erosão e transporte de sólidos, por

FIGURA 17:- DISTRIBUIÇÃO DA FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE AMOSTRAS COM DETERMINADOS INTERVALOS DE CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO, OBSERVADA NO RIBEIRÃO DO RATO.

FIGURA 18:- DISTRIBUIÇÃO DA FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE AMOSTRAS COM DETERMINADOS INTERVALOS DE CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO, OBSERVADA NO CÓRREGO HORÁCIO.

FIGURA 19:- DISTRIBUIÇÃO DA FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE AMOSTRAS COM DETERMINADOS INTERVALOS DE CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO, OBSERVADA NO CÔRREGO VINTE E UM.

seus rios. No compartimento basáltico, as bacias hidrográficas suportam intensa atividade agrícola, nem sempre com preocupações conservacionistas. A erosão e hidrotransporte de sólidos são predominantemente processados no início do verão, quando a época de plantio e início de crescimento de culturas de larga escala coincide com as intensas precipitações estivais daquela época do ano.

Quanto ao compartimento representado pelas formações supra-basálticas arenosas relacionadas ao arenito Caiuá, seu padrão de erosão e transporte de sólidos não é tão diferenciado segundo épocas específicas do ano, devido a cobertura do solo ser formada pelas pastagens perenes que dominam aquelas regiões. A topografia tem grande influência, assim como a distribuição pluviométrica e a ocupação urbana.

5.2. Estudo da Fase Dissolvida na Bacia Hidrográfica do Ivaí

5.2.1. Águas Relacionadas à Formação Serra Geral

Constam deste trabalho, 80 análises de amostras de água sobre basaltos, coletadas tanto em poços tubulares como em cursos de água superficial, fontes, etc. Deste montante, 25 análises são de amostras do Córrego Jacutinga, sobre as quais se teve um controle da vazão líquida e sólida quando da coleta.

As análises de águas sobre basaltos foram selecionadas dentre aquelas realizadas nos laboratórios da ARH, para controle de qualidade físico-química de águas, por interesse da própria organização ou a pedido de terceiros, de modo que não foi possível uma garantia total sobre os cuidados tomados com as coletas procedidas pelos últimos.

das pelos últimos.

A TABELA 18 contém análises genéricas de águas sobre basaltos coletadas entre abril de 1976 e julho de 1977, enquanto que a TABELA 19 é continente dos dados das análises de amostras coletadas no Córrego Jacutinga, no período compreendido entre novembro de 1974 e agosto de 1977. Na construção das tabelas arenas foram consideradas as análises que apresentaram balanço de cargas com saldos inferiores a 10%.

Os dados da TABELA 18 foram colocados em um diagrama de Piper. No triângulo dos cátions, observa-se uma concentração de pontos na região mais cálcica (FIGURA 20), com algumas análises tendendo ao extremo sódico potássico.

Quanto aos ânions, o bicarbonato predomina grandemente, secundado pelo cloro e nitrato, estando o sulfato, geralmente presente em quantidades não detectadas, o que faz com que os pontos se concentrem na base e mais para o lado esquerdo do Triângulo.

Estas águas podem, em sua grande maioria, ser classificadas como bicarbonatadas cálcicas.

O diagrama de Piper elaborado para as águas do Córrego Jacutinga (FIGURA 21) apresenta seus pontos localizados na mesma região de maior densidade de pontos observada na FIGURA 20. Isto vem, de certo modo justificar a consideração das águas deste córrego como representativas da maioria das águas superficiais sobre basaltos da Formação Serra Geral.

Nº	DATA	MUNICÍPIO	L.DE COLETA	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SiO ₂	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	pH	T
1	15/04/76	IVATUBA		2,7	0,5	13,41	5,71	50,0	69,54	0,0	1,0	0,89	7,1	
2	06/06/76	CORBÉLIA	P.TUBUL.II.	0,9	0,0	4,36	0,36	16,0	18,3	0,0	1,0	tr	6,15	
3	09/07/76	CALIFÓRNIA	R.TAQUARA	1,6	0,7	6,96	1,55	2,0	31,72	0,0	0,5	1,33	6,9	
4	21/07/76	F.BELTRÃO	CAPTAÇÃO	1,65	0,7	2,84	3,45	11,0	28,00	tr	0,5	1,15	7,1	
5	27/07/76	CASCABEL	R.CASCABEL	1,35	0,7	4,32	1,51	12,5	25,6	tr	0,5	0,22	6,95	18,0
6	10/08/76	1º DE MAIO	R.JACU	2,6	2,6	5,21	1,97	9,0	31,72	tr	2,0	0,4	7,3	
7	11/08/76	JANDAIA DO SUL	R.DOURADOS	2,8	2,65	7,21	2,74	7,0	29,3	5,1	2,5	1,33	6,5	
8	11/08/76	JAND.DO SUL	R.ROCHEDO	5,0	2,05	14,01	6,98	17,5	74,4	tr	3,5	3,10	7,5	
9	11/08/76	JAND.DO SUL	R.CAMBARÁ	3,85	1,70	11,61	4,38	14,0	54,9	1,5	1,5	3,32	7,4	
10	12/08/76	PORECATÚ	P.TUBUL. II.	9,6	1,7	37,72	11,13	120,0	163,48	0,0	22,5	35,42	7,1	
11	21/08/76		R.FAGUNDES	1,3	0,9	3,20	2,28	17,0	26,84	tr	1,0	0,27	7,0	
12	21/08/76	JAND.DO SUL	R.MARUMBI	3,15	1,55	10,41	8,05	17,5	59,8	tr	4,0	6,29	7,6	
13	31/08/76	LONDRINA	P.A.CLAYTON	20,0	0,70	44,28	4,26	43,0	151,3	tr	22,5	26,6	7,3	
14	02/09/76	LONDRINA	R.CAFEZAL	1,7	0,4	6,01	2,82	13,5	31,72	tr	1,0	0,40	7,2	18,5
15	10/09/76	1º DE MAIO	R.LIMOEIRO	2,7	1,6	6,21	2,21	11,0	37,8	tr	1,0	tr	7,05	
16	13/09/76	ARAPONGAS	C.DO ALECRIM	2,25	0,75	8,49	1,97	14,0	35,4	tr	2,5	3,10	7,1	18,0
17	13/09/76	APUCARANA	R.CAVIUNA	2,36	0,75	9,69	2,92	35,0	41,48	tr	2,5	5,14	7,3	15,0
18	13/09/76	CAMBÉ		2,95	0,65	9,61	3,26	25,0	29,28	tr	1,5	13,73	7,2	
19	16/09/76	IVAIPORÁ	R.PINDAÍÚVA	1,15	0,45	5,21	1,41	13,5	24,4	tr	1,5	0,75	7,3	
20	22/09/76	P.BRANCO	R.LIGEIRO	1,10	0,90	4,56	1,43	11,0	23,2	tr	0,5	0,66	7,0	
21	24/09/76	P.BRANCO	R.P.BRANCO	1,05	0,65	5,16	1,58	--	25,62	tr	2,5	0,8	7,2	
22	29/09/76	JARD.ALEGRE	FONTE J.MAFRA	1,5	0,65	6,97	2,16	26,0	35,38	tr	2,5	0,23	6,7	
23	29/09/76	F.DO IGUAÇU	R.TAMANDUÁ	0,95	0,95	4,72	1,12	11,0	18,30	tr	1,0	tr	7,1	
24	29/09/76	F.DO IGUAÇU	R.ALMADO	0,90	0,75	3,36	0,61	9,0	17,1	tr	0,0	tr	6,8	
25	03/10/76	MANDAGUARI	R. CAITÚ	2,25	0,66	7,36	2,94	14,0	37,82	tr	0,0	2,65	7,3	
26	04/10/76	MARIL.DO SUL	F.C.DAS BOMBAS	0,65	0,20	2,76	1,24	12,0	15,86	1,0	1,0	tr	7,3	
27	05/10/76	PORECATÚ	P. TUBULAR	6,5	1,6	38,67	13,16	45,0	141,52	tr	22,5	15,05	6,7	
28	05/10/76	PORECATÚ	P. TUBULAR IV	6,06	1,70	32,63	12,82	40,0	143,88	tr	18,0	17,71	6,8	
29	06/10/76	P.BRANCO	ETA IN NAT.	1,85	1,40	4,0	1,79	14,0	24,40	0,0	0,0	0,66	6,95	
30	11/10/76	S.MIGUEL D I.	ETA IN NAT.	2,60	1,10	10,25	5,74	18,0	58,6	0,0	1,5	2,39	7,2	22,0
31	18/10/76	ARAPONGAS	R.MANTIQUEIRA	1,45	2,10	2,0	0,58	8,0	12,20	0,0	1,0	2,92	6,5	
32	18/10/76	MATELÂNDIA	ETA IN NAT.	4,7	2,75	12,45	4,25	7,0	43,9	0,0	9,0	13,28	7,1	
33	18/10/76	MEDIANEIRA	ETA IN NAT.	1,5	0,95	2,08	2,57	10,0	15,25	0,0	3,5	2,43	6,8	21,0
34	19/10/76	F.DO IGUAÇU	ETA IN NAT.	1,15	1,25	2,88	1,09	14,0	17,1	0,0	0,0	tr	6,8	20,0
35	21/10/76	CAPANEMA	ETA IN NAT.	2,75	1,70	7,00	5,06	19,0	43,0	0,0	2,5	1,43	7,2	19,0
36	25/10/76	TOLEDO	ETA IN NAT.	0,9	0,75	3,10	0,41	10,0	14,64	0,0	0,0	1,33	6,7	20

TABELA 18.

Nº	DATA	MUNICÍPIO	I.DE COLETA	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SiO ₂	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	pH	T
37	29/10/76	CASCADEL	ETA IN NAT.	2,2	0,6	2,88	1,07	10,0	18,3	0,0	2,0	0,44	6,95	19,0
38	30/10/76	LONDRINA	P.TUBULAR	9,6	0,6	9,20	2,62	40,0	67,1	0,0	3,0	2,43	7,70	
39	03/11/76	PALOTINA	ETA IN NAT.	17,5	0,25	10,01	1,28	24,0	86,6	0,0	1,0	0,84	8,0	
40	09/11/76	CAPANEMA	ETA IN NAT.	2,65	0,5	9,40	3,59	16,0	37,8	0,0	0,5	16,82	7,4	18,0
41	09/11/76	PALOTINA	ETA IN NAT.	4,7	0,4	4,32	1,02	16,0	24,4	tr	1,0	2,21	5,45	
42	09/11/76	BORRAZÓPOLIS	CÓRREGO	2,85	1,5	8,57	3,50	22,0	36,6	0,0	1,0	9,74	6,70	
43	11/11/76	F.DO IGUAÇU	C.ALMADA	0,85	0,60	2,88	0,68	12,0	17,08	0,0	0,0	0,49	6,95	
44	16/11/76	F.DO IGUAÇU	ETA IN NAT.	4,25	0,55	9,25	4,06	25,0	67,10	tr	0,0	tr	6,65	
45	24/11/76	GUAÍRA	P.TUBULAR II	34,50	1,05	16,97	2,57	25,0	125,66	0,0	6,5	10,62	7,05	
46	24/11/76	GUAÍRA		37,50	0,80	26,74	3,74	25,0	18,78	9,0	6,5	4,38	7,15	
47	30/11/76	SABAUDIA	ETA IN NAT.	2,20	0,65	6,80	3,01	25,0	47,58	0,0	1,0	tr	7,20	
48	04/12/76	ATALAIA		1,70	0,5	2,52	0,38	10,0	14,64	tr	1,0	tr	6,85	
49	07/12/76	P. BRANCO	R.CAÇADOR	1,55	0,93	4,48	1,33	6,0	26,84	0,0	0,0	1,02	7,15	
50	07/12/76	P. BRANCO	R.P.BRANCO	1,10	0,85	3,32	0,82	12,0	19,5	tr	0,0	0,80	7,20	
51	16/12/76	C.PROCÓPIO	R.CONGONHINHAS	3,85	1,25	9,60	2,55	20,0	48,80	0,0	2,0	1,02	7,50	
52	13/12/76	TERRA ROXA	ETA IN NAT.	0,10	0,7	0,76	0,17	8,0	3,66	0,0	1,0	tr	5,15	
53	13/12/76	F.DO IGUAÇU	ETA IN NAT.	0,55	0,45	3,88	0,55	20,0	18,30	0,0	0,5	tr	7,40	
54	15/02/77	PALOTINA	POÇO TUBULAR	3,50	0,70	12,53	3,35	40,0	74,42	0,0	1,0	tr	7,45	
55	02/01/77	IVAIPORÁ	ETA IN NAT.	1,20	1,05	4,96	1,14	25,0	24,40	0,0	0,0	tr	7,25	
56	09/02/77	ALV.DO SUL	F.S.SERRINHA	4,9	1,0	13,93	6,25		71,98	1,5	2,5	8,84	6,60	
57	09/02/77	PARAGUAI	R.ITAMBEY	1,75	1,45	4,24	1,55	27,0	28,06	0,0	1,0	0,13	7,25	
58	10/02/77	PARAGUAI	R.ITABÓ.	1,70	1,60	4,28	1,60	21,0	25,62	0,0	0,0	0,0	7,15	30,0
59	10/02/77	F.DO IGUAÇU	R.POMBA CUE	0,70	0,70	1,64	0,60	15,0	10,98	0,0	0,0	0,0	7,15	25,5
60	11/02/77	Sta.HELENA	R.S.F.VERD.	1,75	0,85	4,12	2,14	12,0	30,50	tr	1,5	0,01	7,60	
61	12/02/77	Sta.HELENA	R.S.F.FALSO	1,85	1,20	6,08	2,23	20,0	34,16	0,0	0,5	0,01	7,60	
62	23/02/77	PARAGUAI	REP.ACARAY	1,45	0,75	1,52	0,46	15,0	12,20	0,0	in	0,0	7,10	
63	23/02/77	PARAGUAI	R.LIMOY	1,60	1,55	4,48	1,72	15,0	28,06	0,0	0,0	0,35	7,20	
64	24/02/77	PARAGUAI	R.ITAMBEY	1,60	1,40	4,40	1,31	15,0	28,06	0,0	1,0	0,22	7,25	
65	24/02/77	PARAGUAI	REP.IGUAÇU	0,55	0,85	1,48	0,38	7,0	9,76	0,0	in	0,05	7,20	30,0
66	24/02/77	PARAGUAI	R.ACARAY	0,65	0,85	1,72	0,43	8,0	10,98	0,0	in	in	6,65	30,0
67	24/02/77	PARAGUAI	R.ITABÓ	0,80	0,70	3,52	0,94	12,0	19,52	tr	in	0,44	7,35	25,0
68	24/02/77	PARAGUAI	R.PIRAPITÁ	0,70	0,80	3,92	1,09	12,0	21,96	0,0	0,5	0,31	7,30	25,5
69	27/02/77	ALVORADA	R.P.CUE	0,70	0,65	3,80	0,53	11,0	18,30	0,0	0,5	in	7,15	27,0
70	27/02/77	M.C.RONDO	AR.GUAÇU	1,25	0,55	5,04	1,28	22,0	25,62	tr	0,5	1,99	7,30	31,0
71	09/03/77	CALIFORNIA	POÇO TUBULAR	2,25	0,50	7,68	1,89	25,0	41,48	tr	0,0	0,66	7,15	
72	21/03/77	TOLEDO	P.SEDE O.V.	2,50	1,00	7,92	2,99	30,0	47,58	tr	1,0	0,12	7,65	21,0

TABELA 18 (cont.).

Nº	DATA	MUNICÍPIO	L.DE COLETA	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SiO ₂	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	pH	T
73	30/03/77	F.DO IGUAÇU	P.TUBULAR	6,50	1,20	20,78	3,52	40,0	96,38	0,0	1,5	tr	7,05	
74	22/04/77	F.DO IGUAÇU	DIQUE BELAV.	2,20	1,20	6,80	0,17	20,0	24,40	0,0	0,0	0,27	7,10	22,0
75	22/04/77	F.DO IGUAÇU	DIQUE BELAV.	1,90	1,35	5,56	1,16	20,0	28,06	tr	0,5	0,35	6,05	22,0
76	25/04/77	CAMBÉ	P.TUBULAR II	2,20	0,60	6,04	2,40	55,0	31,72	0,0	0,5	1,68	7,40	
77	25/04/77	CAMBÉ	P.TUBULAR	3,50	0,60	8,92	3,89	25,0	45,14	0,25	5,0	1,11	6,95	
78	26/04/77	MAL.C.RONDON	R.ARR.GUAÇU	1,90	1,35	4,68	0,94	12,0	21,96	0,0	1,5	1,86	7,50	22,0
79	27/04/77	MARINGÁ	P.TUBULAR I	1,25	0,60	3,92	1,92	24,0	24,40	tr	1,0	1,68	6,35	21,0
80	28/04/77	IVAILÂNDIA	P.TUBULAR	17,50	1,25	12,33	3,08	32,0	102,48	0,0	4,0	1,11	7,60	
81	28/04/77	JARD.ALEGRE	P.TUBULAR	1,90	0,70	7,12	3,01	20,0	32,94	0,5	4,0	3,01	7,45	20,0
82	02/05/77	ASTORGA	P.TUBULAR	1,35	1,25	2,20	1,14	17,0	14,64	tr	1,5	0,22	6,80	
83	02/05/77	CAMBÉ	P.TUBULAR	11,0	0,30	5,92	0,80	34,0	57,34	2,0	0,5	tr	7,50	
84	03/05/77	TOLEDO	P.TUBULAR	4,20	1,15	11,85	4,23	30,0	67,10	0,5	0,5	0,31	7,00	19,5
85	11/05/77	F.DO IGUAÇU	DIQUE P.CUÊ	1,70	1,55	4,36	1,65	8,0	24,14	0,0	0,0	tr	6,85	
86	11/05/77	F.DO IGUAÇU	D.BELA VISTA	2,0	1,40	4,28	1,60	10,0	25,62	0,0	0,5	tr	7,05	
87	11/05/77	F.DO IGUAÇU	R.P. CUÊ	1,5	0,55	1,80	0,97	10,0	13,42	0,0	0,5	0,27	6,70	
88	11/05/77	F.DO IGUAÇU	MONT.D.B.V.	1,50	1,75	5,48	0,99	9,0	24,40	1,5	1,0	tr	6,90	
89	/05/77	MATELÂNDIA		3,10	1,75	8,88	3,40	18,0	43,92	tr	2,0	2,52	7,25	
90	/05/77	F.DO IGUAÇU	P.TUBULAR	31,50	0,75	11,96	2,11	20,0	113,46	2,0	1,0	tr	8,20	21,0
91	25/05/77	F.DO IGUAÇU	C.ITAIPU	1,90	0,90	4,06	1,54	14,0	25,62	0,0	0,5	tr	7,45	19,0
92	26/05/77	F.DO IGUAÇU	MONT.DO D.B.V.	1,55	1,45	5,62	1,78	14,0	29,28		1,0		6,85	19,0
93	26/05/77	F.DO IGUAÇU	D.B.VISTA	2,70	1,60	5,05	1,88	14,0	29,28	tr	0,5	0,18	6,75	19,0
94	30/05/77	A.CHATEAUBRIAND	ETA IN NAT.	1,30	0,65	10,98	1,65	12,0	30,50	14,5	1,0	0,49	8,85	19,0
95	02/06/77	ROLÂNDIA	R.BANDEIRINHA	3,23	1,40	3,69	1,96	14,0	23,18	0,0	4,0	1,59	7,30	17,5
96	02/06/77	ROLÂNDIA	R.DOS APERTADOS	1,84	1,84	2,86	1,67	14,0	21,96	0,0	1,0	0,80	7,35	16,0
97	18/06/77	STa.HELENA	P.TUBULAR II	10,00	0,55	13,21	3,98	35,0	79,30	0,0	0,0	0,44	7,60	22,0
98	17/06/77	STa.HELENA	P.TUBULAR I	8,80	0,55	13,53	3,79	22,5	78,08	0,0	0,0	0,53	7,60	22,0
99	28/06/77	S.I.DO IVAÍ	R.ANTA GORDA	2,20	2,45	6,60	3,81	28,0	33,55	1,5	0,5	8,84	7,15	
100	29/06/77	S.DO LONTRA	R.DO LONTRA	2,00	1,15	6,12	3,40	20,0	30,50	1,0	0,5	8,40	7,20	
101	07/07/77	UBIRATÁ	R.TRICOLOR	3,15	0,65	4,36	2,55	24,0	26,23	1,0	0,0	9,90	7,45	
102	07/07/77	UBIRATÁ	R.PALMITO	1,25	0,50	4,24	1,36	24,0	29,74	0,0	0,0	4,20	7,00	
103	06/07/77	CAPANEMA	R.LISO	2,60	1,20	9,97	4,21	24,4	36,60	10,0	1,5	12,38	7,60	
104	12/07/77	GUARAPUAVA	R.PINHÃOZINHO	1,72	1,23	2,68	1,46	14,0	18,30	1,0	0,0	0,88	7,20	12,0
105		GUARAPUAVA	P.TUBULAR II	3,07	0,46	0,72	0,24	6,0	6,10	0,0	0,0	4,42	6,35	12,0
106	07/07/77	S.A.DO SUDOESTE	R.DO CERRO	2,85	nd	8,13	3,23	12,0	43,92	0,0	1,0	2,43	6,90	18,0

TABELA 18 (cont.).

Nº	DATA	MUNICÍPIO	L.DE COLETA	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SiO ₂	HCO ₃	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	pH	T
107	14/07/77	S.A.DO SUDOESTE	PRANCHITA	1,08	0,65	4,24	3,53 /	18,0	30,50	0,0	0,0	0,09	6,45	16,0
108	14/07/77	S.A.DO SUDOESTE	R.AURORA	4,00	1,52	6,57	4,69	12,0	40,26	0,0	7,0	5,44	7,10	16,0
109	14/07/77	S.A.DO SUDOESTE	R.AURORA	2,05	1,68	7,89	4,72	14,0	41,48	0,0	0,5	10,17	7,10	14,0
110	14/07/77	S.A.DO SUDOESTE	PRANCHITA	0,92	0,50	3,60	2,41	14,0	24,40	0,0	0,0	0,27	7,10	16,0

TABELA 18:- PARÂMETROS QUÍMICOS DE ÁGUAS COLETADAS NA FORMAÇÃO SERRA GERAL NO PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE ABRIL DE 1976 E JULHO 1977. AS ESPÉCIES DISSOLVIDAS SÃO APRESENTADAS EM mg/l.

Nº	DATA	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SiO ₂	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃	pH	T
1	21/11/74	1,7	1,0	9,41	1,04	28	34,16	1,70	1,05	6,8	22
2	18/01/75	1,6	0,7	9,44	0,14	30	36,60	2,0	0,0	7,0	21
3	08/02/75	1,6	0,6	9,00	1,43	24	37,82	2,0	tr	6,8	
4	21/02/75	1,6	0,5	5,93	3,26	35	35,38	2,2	tr	7,2	
5	05/03/75	1,6	0,7	8,84	0,77	30	37,82	1,8	tr	6,9	
6	31/05/75	1,4	0,2	5,66	2,24	35	34,16	2,5	0,0	6,9	
7	24/06/75	1,2	0,3	5,17	3,84	35	35,38	2,7	tr	6,8	
8	07/07/75	1,3	0,5	6,16	1,33	40	34,16	0,5	1,33	6,9	16
9	24/07/75	1,4	0,7	4,88	2,40	22	34,16	2,5	0,62	7,3	18
10	16/09/75	1,7	1,0	5,69	1,87	30	32,34	2,0	0,29	6,6	21
11	23/10/75	0,4		5,60	2,09	40	32,46	0,0	0,49	6,8	
12	21/11/75	1,0	0,5	6,88	1,96	20	37,82	1,5	0,53	7,1	
13	26/02/76	1,6	1,0	6,08	2,40	16	39,00	0,5	0,93	6,9	
14	16/03/76	1,6	0,7	5,28	2,48	20	34,16	1,0	tr	6,9	
15	09/04/76	1,7	0,5	5,08	2,11	26	31,70	1,0	tr	6,7	18
16	16/05/76	1,6	0,6	4,88	2,11	25	31,72	0,5	1,30	6,8	
17	13/06/76	1,6	0,9	4,84	2,16	20	30,50	1,0	0,97	6,6	
18	18/07/76	1,5	0,9	5,28	1,84	30	32,33	0,5	tr	7,1	19
19	13/08/76	1,8	2,3	6,41	1,95	-	32,20	1,5	0,66	6,9	21
20	09/09/76	1,5	0,5	6,08	1,94	18	34,20	1,0	0,71	7,1	18
21	20/10/76	1,8	1,0	5,84	3,50	22	37,84	1,0	0,40	7,0	20
22	28/01/77	1,7	1,5	7,48	1,99	25	39,04	0,0	1,46	7,1	23
23	03/05/77	1,6	0,9	5,48	2,35	30	31,72	1,0	0,35	6,9	21
24	29/05/77	1,6	0,6	5,04	1,65	20	29,28	0,0	0,18	7,1	19
25	27/06/77	1,4	0,8	5,00	2,70	20	32,94	0,0	0,0	7,4	17
26	25/07/77	1,9	0,7	5,04	2,36	27	34,16	0,5	1,01	7,1	19
27	30/08/77	1,6	0,6	5,33	2,75	20	31,11	1,0	0,64	7,1	

TABELA 19:- ANÁLISES QUÍMICAS DE ÁGUAS DO CÓRREGO JACUTINGA, COLETA DAS EM 1974, 1975, 1976 E 1977, NO SÍTIO OURO VERDE. AS ESPÉCIES DISSOLVIDAS SÃO APRESENTADAS EM Mg/l.

FIGURA 20 - DIAGRAMA DE PIPER, REPRESENTANDO A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE AMOSTRAS DE ÁGUAS NATURAIS COLETADAS EM TERRENOS BASÁLTICOS, EXTRAÍDAS DOS ARQUIVOS DA A.R.H. (TABELA 21).

FIGURA 21:- DIAGRAMA DE PIPER, REPRESENTANDO A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE AMOSTRAS DE ÁGUAS COLETADAS NO CÓRREGO JACUTINGA NA ESTAÇÃO DO SÍTIO 'OURO VERDE' (TABELA 22).

Na FIGURA 20, as águas subterrâneas cuja relação Mg^{+}/Ca^{+} varia entre 1,0 e 0,1, se distribuem em uma nuvem que se alonga em direção às altas concentrações de $Na^{+} + K^{+}$, enquanto as águas superficiais apresentam valores de Mg^{+}/Ca^{+} variando entre 2,33 e 0,03.

A relação $(Na^{+} + K^{+})/Ca^{+}$, nas águas superficiais varia entre 0,15 e 1,0, havendo apenas dois valores superiores a esta cifra, ao passo que as águas subterrâneas apresentam valores bem mais elevados, que podem alcançar.

A tendência de ocorrerem altos teores em álcalis em certas amostras de águas subterrâneas se relaciona, provavelmente, a sistemas de faturamentos que alcançam o aquífero Botucatu, armazenador de águas com diferentes composições.

A concentração em termos de sólidos dissolvidos, das águas da Formação Serra Geral, é proporcional ao teor em bicarbonato (FIGURA 22). Este fato justifica que, a título de simplificação, a concentração de sólidos dissolvidos seja neste trabalho, muitas vezes representada em termos de concentração de HCO_3^{-} .

Serão feitas, a seguir, algumas considerações gerais e algumas específicas sobre as principais espécies normalmente encontradas dissolvidas na maioria das águas naturais da Região.

Sódio e Potássio

Ambos ocorrem nas águas superficiais nas

FIGURA 22:- REPRESENTAÇÃO DA CORRELAÇÃO ENTRE A CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS E A CONCENTRAÇÃO DE HCO_3^- , PARA ÁGUAS SOBRE BASALTOS.

formas iônicas K^+ e Na^+ , em concentrações de 2,1 mg/l e 1,5 mg/l para o K^+ e 6,9 mg/l e 4,9 mg/l para o Na^+ , nos rios do mundo e da América do Sul, respectivamente (Gibbs, 1972 pág. 1065).

Nas águas de rios sobre basaltos, TABELA 18 o teor de Na^+ e K^+ é de 1,92 mg/l e 1,14 mg/l, respectivamente, em média. No Jacutinga foram detectados valores de 1,56 mg/l para o Na^+ e 0,84 mg/l no caso do K^+ . A relação K^+/Na^+ é igual a 0,54.

No caso dos basaltos da Formação Serra Geral, grande parte do sódio e do potássio fazem parte da fase vítrea, criptocristalina e microcristalina das rochas e não dos feldspatos, que são fundamentalmente cálcicos.

O sódio é em grande parte proveniente das rochas e em parte cíclico, vindo indiretamente do oceano, principalmente como NaCl. Por este motivo, para estudos de correlações rocha-água, é comum a dedução do Na^+ relativo à presença equivalente de Cl^- .

O Na^+ , FIGURA 23, varia com uma certa regularidade com a concentração de sólidos dissolvidos. Ajustando por mínimos quadrados, uma reta logarítmica, foi obtido um ajuste $r^2 = 0,78$ e gerada uma equação do tipo

$$\log(Na^+) = 1,22 \log(HCO_3^-) - 1,49$$

Com uma excessão (análise nº 39, TABELA 18) todos os teores de Na^+ , superiores a 6 mg/l, se referem a águas subterrâneas.

FIGURA 23:- VARIAÇÃO EM ÁGUAS DA CONCENTRAÇÃO DE Na^+ COM A CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS, REPRESENTADA PELO HCO_3^- SOBRE BASALTOS.

O K^+ , por sua vez, não apresenta uma tendência nítida de variação com a concentração (FIGURA 24). Seus teores são baixos e a ausência de variação regular pode caracterizar: uma heterogeneidade composicional dos basaltos quanto a este elemento; uma disponibilidade variável nas águas devido a fixações com taxas irregulares por argilominerais, ou reações de troca iônica.

No gráfico da FIGURA 25, a relação Na_2O/K_2O tende a aumentar com a concentração, apesar da dispersão de pontos ser grande. Este comportamento é um reflexo do comportamento do Na^+ , uma vez que ele apresenta uma forte tendência no mesmo sentido e está disponível nas águas em quantidade superior ao K^+ .

A relação K^+/Na^+ , em termos de equivalentes, nas águas dos basaltos apresenta um valor médio de 0,35 e nas águas do Jacutinga 0,32. Tais valores se encontram dentro do campo de variação para a média das águas continentais (0,001 a 1,0 e mais frequentemente 0,004 a 0,3) - (Schoeller, 1956 pg. 136-145).

Cálcio

O cálcio se faz presente nas águas dos rios do mundo, principalmente sob a forma do íon bivalente, Ca^{2+} em um teor de 15,0 mg/l (Livingstone, 1963 pg 41) (Gibbs, 1972 pg 1065) que decresce para 6,4 no caso dos rios sul americanos (Gibbs, obra cit.).

Nas águas sobre basaltos, o Ca^{2+} é o cátion mais abundante, após o silício. Isto é reflexo de sua facilidade de remoção dos minerais das rochas básicas, aliada à abundância nas mesmas. Esta liberação do Ca^{++} ,

FIGURA 24:- VARIAÇÃO, EM ÁGUAS SOBRE BASALTOS, DA CONCENTRAÇÃO DE K⁺ COM A CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS, REPRESENTADA PELO HCO₃⁻.

FIGURA 25:- VARIAÇÃO, EM ÁGUAS SOBRE BASALTOS, DA RELAÇÃO Na₂O/K₂O COM A CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS, REPRESENTADA PELO HCO₃⁻.

dos silicatos das rochas basálticas foi salientada em trabalhos realizados na natureza (Levi e Melfi, 1972) e em experimentos com intemperizadores, (Hypolito, 1972), com rochas básicas da bacia do Paraná. O Ca foi o elemento mais removido, apresentando-se em solução sob a forma iônica Ca^{2+} .

A solubilidade do Ca^{++} em águas naturais está muito relacionada à presença de espécies carbônicas dissolvidas como: CO_2 , H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{--} . A repartição das três últimas espécies é fundamentalmente regida pelo potencial hidrogeniônico, se bem que a temperatura também influa.

O Ca^{++} é um cátion bastante afetável por trocas iônicas.

Em pH elevado, superior a 9, o Ca^{++} se precipita como CaCO_3 e Ca(OH)_2 .

O ânion SO_4^{--} é outro parâmetro condicionante da presença de Ca^{++} em solução, podendo provocar a precipitação de CaSO_4 .

Em casos de uma intensa evaporação, há uma precipitação seletiva, iniciada pelo CaCO_3 , mesmo na presença de Cl^- , SO_4^{--} , Na^+ , Mg^{++} (Swenson, 1955 pg 24).

A relação de equivalentes $\text{Mg}^{++}/\text{Ca}^{++}$ varia frequentemente entre 0,3 e 1,5 nas águas continentais (Custódio, 1955 pg 24), estando os valores superiores a 1 relacionados às rochas básicas. Nas águas dos rios sobre basaltos foi assinalada uma média de 0,66 e no Jacu

tinga 0,55.

Proveniente principalmente dos plagioclásios, o Ca^{++} é a espécie dissolvida que varia mais regularmente com a concentração de sais dissolvidos, representada pelo bicarbonato. A variação do Ca^{++} com o HCO_3^- está visualizada na FIGURA 26, onde foi ajustada uma reta logarítmica com coeficiente de ajuste $r^2 = 0,89$ e equação

$$\log(\text{Ca}^{++}) = -1,01 \log(\text{HCO}_3^-) - 0,76$$

Tendo em vista, ser o Ca o metal mais abundante, muito solúvel e homogeneamente distribuído nos basaltos, como seria de se esperar, sua concentração nas águas varia com o grau de diluição.

Todos os teores de Ca^{++} superiores a 30mg/l. (TABELA 18), se relacionam a águas sub superficiais, se bem que em algumas águas deste tipo sejam encontrados teores desde 2 mg/l.

Magnésio

Na média das águas dos rios do mundo e da América do Sul, o Mg^{++} se apresenta com teores de 3,9 mg/l e 1,2 mg/l respectivamente (Gibbs, 1972 pg 1065).

Nas águas de rios sobre basaltos (TABELA 18), a concentração medida foi 2,2 mg/l enquanto que no córrego Jacutinga foi anotada uma concentração de 2,1 mg/l.

A maior fonte de Mg^{++} são os basaltos, atra

FIGURA 26:- VARIAÇÃO, EM ÁGUAS SOBRE BASALTOS, DA CONCENTRAÇÃO DE Ca^{++} COM A CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS, REPRESENTADA PELO HCO_3^- .

vês de piroxênios da série das augitas e pigeonitas (Ruegg, 1969).

A presença do magnésio em solução está relacionada ao íon Mg^{++} ; com é o caso do Ca^{++} , embora, como o alumínio, pode se associar a seis moléculas de água sob a forma $\{Mg(H_2O)_6\}^{++}$.

Como em relação ao Ca^{++} , a estabilidade do Mg^{++} é influenciada pela presença de espécies carbônicas e do SO_4^{--} , se bem que a precipitação do hidróxido se dê em pH menor do que no caso do $Ca(OH)_2$.

Sua eliminação da rocha pode se dar de forma mais ou menos equivalente ou um pouco menos intensa do que no caso do Ca^{++} (Hem, 1970), (Melfi, 1968), (Tardy, 1969), (Hypolito, 1972).

O Mg^{++} , apresenta uma nítida tendência de aumento de concentração, com o aumento da concentração total de sólidos dissolvidos da solução, notadamente águas superficiais (FIGURA 27). Os pontos correspondentes às águas subterrâneas apresentam uma concentração na parte direita superior do gráfico.

Sílica

Em meio superficial, a forma mais aceita sob a qual a sílica está presente é como ácido monossilício, H_4SiO_4 .

Acompanhando o H_4SiO_4 é assinalada a presença de seus polímeros $(H_4SiO_4)_n$, sob a forma de síli

FIGURA 27:- VARIAÇÃO, EM ÁGUAS SOBRE BASALTOS, DA CONCENTRAÇÃO DE Na^{++} COM A CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS, REPRESENTADA PELO HCO_3^- .

ca amorfa ou coloidal, além do íon silicato ou H_3SiO_4^- .

A sílica nas águas continentais é proveniente do ataque de silicatos e outros materiais que contêm sílica solúvel. Provém, também, em menor quantidade da dissolução do quartzo e suas formas alotrópicas.

Nas condições normais de concentração e pH, a sílica está fundamentalmente presente nas águas em suas formas solúveis H_4SiO_4 e H_3SiO_4^- . A forma coloidal eventualmente formada é instável, desaparecendo em poucos dias (Krauskopf, 1956 pg 15).

Liberada dos silicatos sob a forma do ácido silícico, sua solubilidade é estabelecida pela reação de equilíbrio

Cuja constante de ionização é dada por $K = \frac{(\text{H}^+) (\text{H}_3\text{SiO}_4^-)}{(\text{H}_4\text{SiO}_4)}$

ou $\log K = \log (\text{H}_3\text{SiO}_4^-) - \log (\text{H}_4\text{SiO}_4) - \text{pH}$

Segundo Sillém e Martell (1.964) a constante K, a 25°C apresenta o valor de $10^{-9,41}$ e segundo Greenburg e Price (1957), $10^{-9,7}$.

Empregando $\log K = -9,7$, o pH médio de 6,9 e a concentração de $\text{H}_4\text{SiO}_4 = 42,6 \text{ moles/l} \cdot 10^{-2}$, teremos uma concentração de H_3SiO_4 de $6,75 \cdot 10^{-4} \text{M}$.

A concentração de sílica na maioria das águas continentais, oscila entre 1 e 30 mg/l, ocorrendo

em algumas áreas, frequentemente, valores superiores a 100 mg/l (Hem, 1970 pg 109). Gibbs (1972 pg 1065) apresenta o valor de 13,1 mg/l para a sílica dissolvida nos rios da América do Sul.

Neste trabalho foi calculado um valor médio para os rios sobre basaltos, TABELA 18, de 15,17 mg/l e para as águas do Jacutinga, de 25,58 mg/l, sendo este segundo valor talvez mais alto do que seria de se esperar.

A variabilidade dos teores em sílica das águas continentais, é devida a diversos fatores como por exemplo: a temperatura, que aumenta a solubilidade do SiO_2 ; o pH (Krauskopf, 1956, Alexander et alii, 1954, Okamoto et alii 1957 e Pedro, 1964), favorece um grande aumento da sílica dissolvida a partir de pH 9.

A sílica varia com alguma regularidade com a concentração de sólidos dissolvidos. Apesar do coeficiente de ajuste $r^2 = 0,46$, pode-se obter, por mínimos quadrados, uma reta relacionando SiO_2 e HCO_3^- (FIGURA 28).

$$\log (\text{SiO}_2) = 0,53 \log (\text{HCO}_3^-) + 0,44$$

Como no caso dos cátions, a sílica apresenta seus valores mais elevados associados a águas subterrâneas.

Ferro

Proveniente principalmente do ataque de ferromagnesianos, sulfetos, óxidos e hidróxidos e car

FIGURA 28:- VARIAÇÃO, EM ÁGUAS SOBRE BASALTOS, DA CONCENTRAÇÃO DE SiO₂, COM A CONCENTRAÇÃO TOTAL DE SÓLIDOS DISSOLVIDOS, REPRESENTA DA PELO HCO₃⁻.

bonatos, o Fe em ambiente superficial aquoso tem sua estabilidade fundamentalmente dependente do Eh e do pH, se solubilizando ou precipitando com facilidade, por alteração destes parâmetros.

Em meio superficial aerado, oxidante, são ocorrem quantidades mínimas de ferro dissolvido, sendo este o caso da maioria das águas superficiais.

O Fe normalmente é encontrado nas águas sob suas formas iônicas ferrosa e férrica, Fe^{2+} e Fe^{3+} , e também associado a hidróxidos como o $\{\text{Fe}(\text{OH})\}^{2+}$ e $\{\text{Fe}(\text{OH})_2\}^+$, além de poder se associar a complexantes orgânicos e inorgânicos.

A espécie trivalente Fe^{3+} , estável em águas aeradas, é praticamente insolúvel, com solubilidade inferior a 0,01 mg/l em pH 4,8 (Hem, 1970 pg 116). Esta espécie é anotada muitas vezes nas águas como dissolvida, estando, na realidade, fazendo parte de finas suspensões coloidais.

Nas condições de Eh relacionadas a águas superficiais aeradas, e pH em torno de 7, como é o caso das águas ora estudadas, o ambiente se situa totalmente no campo da espécie oxidada Fe^{3+} . Este aspecto é perfeitamente visualizado em diagrama Eh x pH para as espécies de ferro (Garrels e Christ, 1965 pg 224).

O teor de Fe dissolvido na média dos rios do mundo é 0,41 mg/l (Gibbs, 1972 pg 1065).

Alumínio

Embora, presente em grandes quantidades nos basaltos, assim como na maioria das rochas, o Alumínio ocorre em teores baixíssimos nas águas naturais devido a sua baixa solubilidade em condições normais de pH.

A alumina hidratada é um hidróxido anfótero, se solubilizando significativamente em meio ácido com o pH até 5, como Al^{3+} e em meio alcalino a partir de pH 8, sob a forma de $AlO_3H_2^-$ ou $Al_3(OH)_4^-$. A solubilidade da alumina seria mínima em pH 6 (Correns, 1949) (Charlot, 1969 pg 97) ou entre 4,8 e 6,2 (Krauskopf, 1956) e (Wey, 1962).

Quase que totalmente insolubilizada, a alumina, combinada com parte da sílica, compõe as redes dos aluminossilicatos hidratados da família dos argilomineais, podendo também, isoladamente, constituir minerais como a gibbsita, e mais raramente bohemita e diásporo.

Como a sensibilidade dos métodos empregados sistematicamente nos laboratórios da ARH, para o alumínio é inferior aos teores normais de alumínio em águas naturais, não se analisou este elemento.

Em rios que drenam regiões basálticas no Estado de São Paulo, foram anotados teores de 0,02 mg/l, 0,03 mg/l e 0,09 mg/l, respectivamente nos rios Sucuriú Pardo e Verde (Szikzay, 1973), valores estes que devem ser considerados elevados, para o alumínio em solução, sendo bastante provável a contribuição de partículas em suspensão coloidal.

Espécies Carbônicas

O bicarbonato e o carbonato são as espécies

carbônicas que, junto com o ácido carbônico, provêm: da dissolução aquosa do CO_2 atmosférico; de atividades orgânicas que têm lugar no solo e da dissolução de calcários.

A predominância de uma ou outra espécie em águas superficiais é regulada pelo pH, sofrendo também influências térmicas.

Nos valores de pH próximos à neutralidade, como é o caso da maioria das águas superficiais, a espécie que predomina largamente é o ânion bicarbonato.

O comportamento das espécies carbônicas é regido pelas reações de formação do H_2CO_3 a partir de CO_2 e H_2O e de dissociação do H_2CO_3 .

Os valores de K_1 e K_2 , a 25°C , foram obtidos de Sillén em Krauskopf (1967, pg 652) e o valor "K" de Krauskopf na obra citada.

Em termos de HCO_3^- , a média dos rios do mundo é de 55,9 mg/l e da América do Sul, de 24,2 mg/l (Gibbs, 1972 pg 1065).

Para o Córrego Jacutinga foi calculado um teor médio de 34,74 mg/l, enquanto que na média dos rios sobre basaltos, o valor foi de 29,41 mg/l.

Com o valor médio de pH e a concentração de HCO_3^- obtidos no Jacutinga, pode-se estimar o teor de CO_2 em equilíbrio com a água. Das reações de equilíbrio das espécies carbônicas se obteve um valor de pressão parcial de CO_2 de $5,69 \cdot 10^{-3}$ atmosferas, em equilíbrio com o sistema carbônico.

Cloreto

O ânion cloreto é o mais abundante da água do mar, se bem que nas águas continentais tenha sua importância bastante reduzida.

Nas águas doces, seu teor médio é de 8,1 mg/l para os rios do mundo e 5,4 mg/l para os sulamericanos (Gibbs, 1972 pg 1065).

Na média das águas dos rios sobre basaltos analisadas (TABELA 18), o teor médio foi de 1,35 mg/l e no Jacutinga de 1,26 mg/l. Os últimos valores, um tanto abaixo das médias da literatura, podem ser atribuídos à distância que separa a região estudada do oceano.

O cloreto é um ânion essencialmente cíclico, cujo retorno do oceano se dá através da evaporação. Hem(1959 pg 109) estima que a água da chuva incorpora aos continentes $99 \cdot 10^6$ ton/ano de Cl^- , enquanto a escorrência superficial devolve ao mar $150 \cdot 10^6$ ton/ano.

O cloro nas águas continentais pode, em alguns casos, provir de minerais como a sodalita, alguns anfibólios, apatita, principalmente, ou de poluições urbana e industrial em áreas localizadas. Pode também provir de líquidos e gases associados a emanações vulcânicas.

cas e, naturalmente, de evaporitos, em regiões específicas.

Devido a sua solubilidade, o Cl^- não chega a saturar as águas, sendo dificilmente alterado por trocas iônicas ou outro tipo de ação.

Nitrato

É produzido pela decomposição de matéria orgânica, pela ação de bactérias do solo, por processos de nitrificação natural, por adubações agrícolas, contaminação urbana, industrial e pecuária e proveniente em pequena proporção da água da chuva. O nitrato ocorre com um teor médio de 0,84 mg/l nos rios do mundo e 0,3 mg/l nos sulamericanos (Gibbs, 1972 pg 1065).

Em pequenas proporções, devido a fenômenos nos muitos locais, pode o NO_3^- ser proveniente da lavagem de certos minerais nitrogenados, emanações vulcânicas ou lixiviação de solos antigos, sendo estas fontes sem importância anotada na região considerada.

Nas águas dos rios da TABELA 18, a média para os nitratos é de 2,19 mg/l, enquanto que no Jacutinga é de 0,55 mg/l. Este último valor, TABELA 19, cerca de 0,25% do valor anterior é provavelmente devido à menor incidência de fontes poluidoras.

Sulfato

O sulfato ocorre nas águas continentais a partir de: contaminações de águas das chuvas; da oxida

dação de sulfêtos das rochas; da dissolução de sulfatos; de poluições urbanas, industriais e ocasionalmente agrícolas.

Na média das águas superficiais da América do Sul e do Mundo, foram anotados por Gibbs (1972 pg 1065) valores de 4,3 mg/l e 10,6 mg/l.

Em muito poucas das amostras sobre basaltos foram detectados valores superiores a 1,0 mg/l, não sendo anotado qualquer valor maior do que 0,2 mg/l no Córrego Jacutinga.

5.2.1.1. MOBILIDADE RELATIVA DOS ELEMENTOS — BASALTOS

A presteza com que cada elemento se libera da rocha, configura um quadro de mobilidades relativas, em que aqueles mais móveis se deslocam mais prontamente.

A mobilidade relativa é estabelecida pela abundância relativa de constituintes em uma rocha e a quantidade removida durante um processo de alteração.

A liberação de um elemento ou espécie dissolvida em geral, para um meio aquoso, depende, naturalmente, tanto da maneira como este elemento está ligado aos minerais da rocha, como dos fatores que podem interferir em seu comportamento após o deslocamento de sua posição original.

O elemento em solução pode: permanecer

dissolvido na forma iônica; ser incorporado por radicais complexos; ser retirado da solução para fazer parte de minerais neoformados; ser incorporado à matéria orgânica; sofrer adsorção por sólidos presentes; ser submetido a mudança de estado por ação de agentes do meio como pH e Eh; reagir quimicamente com outras espécies químicas presentes; etc..

Elementos químicos, por vezes prontamente liberados das cadeias de minerais primários, não se encontram disponíveis significativamente nas águas. Isto se deve, frequentemente, a rápida incorporação destes elementos por óxidos, hidróxidos e minerais neoformados.

Os trabalhos de Melfi e Levi(1971) e Levi-Melfi(1972), em que é estudada a alteração intempérica de rochas básicas da bacia do Paraná, chegaram a conclusões sobre a mobilidade relativa dos principais elementos, baseados em estudos sobre perfis de alteração de rochas básicas. Os valores obtidos vêm confirmar, em linhas gerais, aqueles levantados pela literatura, que foram sumarizados por Tardy(1969 pg 139) sob o seguinte esquema: Ca, Na e às vezes o Mg são sempre bem evacuados; Mg, K, Ba e Si são menos evacuados; Ni, Cu e Mn podem ainda ser parcialmente lixiviados; Ga e Cr são menos móveis do que Fe, Ti e Al, facilmente retidos nas arenas.

Os trabalhos pioneiros de Smith(1913) e Polinov(1937), que tiveram prosseguimento com Anderson e Hawkes(1958), Leneuf(1959), Willer(1961), Udov e Parilov(1961), Feth et al.(1964), Perelmann(1967), Tardy (1969) e Trescazes(1971), contribuíram para o conhecimento da mobilidade relativa dos elementos nas mais diversas condições ambientais, fornecendo importantes dados quantitativos representativos do processo. Estes e outros auto

res aqui não mencionados, basearam seus estudos de mobilidade relativa nas relações entre a composição química das rochas e das águas que drenam seus perfis de alteração.

Smith(1913) e Polinov(1937) basearam seus cálculos em dados médios da composição química das rochas ígneas e sedimentares, ou apenas ígneas, respectivamente, assim como utilizaram dados médios de águas superficiais de diversas partes do mundo, sobre estes tipos de rochas.

Feth et al.(1964) estudaram quimicamente 'neves recém caídas em Sierra Nevada, e as águas de degêlo que ressurgiam em fontes, após percolar fraturas de rochas graníticas, andesíticas ou basálticas.

Tanto Smith e Polinov como Feth et al. chegaram a uma mobilidade relativa para os principais componentes das rochas em que:

Ca > Na > Mg > Si > K > Fe > Al

Hypolito(1972), estudando experimentalmente os primeiros estágios da alteração de diabásios, sob a ação de processo de lixiviação carbohídrica, chegou a diferentes sequências de mobilidades relativas, refletindo: diferenças texturais entre as rochas ensaiadas; tempo de contacto da solução com a rocha; pH das soluções percolantes.

Tardy(1969) propõe um método de avaliação da mobilidade relativa dos elementos, baseado na relação:

$$\frac{i_a}{i_r} : \frac{y_a}{y_r} = \frac{i_a \cdot y_r}{i_r \cdot y_a}$$

onde: i_a = teor em mg/l do elemento i na água.

i_r = teor em g do elemento i em 100g da rocha.

y_a = teor em mg/l do elemento de referência na água.

y_r = teor em g do elemento de referência em 100g da rocha

Aplicando a relação proposta por Tardy para a avaliação da mobilidade relativa dos principais cátions dissolvidos nas águas do Jacutinga, (TABELA 20) e relacionando-as com a análise química de um basalto coletado na própria bacia hidrográfica do Jacutinga, chegou-se a um quadro em que, tomando-se o Na como referência, teremos as mobilidades relativas assim dispostas:

espécies — K > Na > Ca > Mg > SiO₂

mob. re. — 1867 1000 567 444 331

No caso de águas com a composição média dos rios sobre basaltos (TABELA 18), e utilizando os dados médios da composição química dos basaltos fornecidas por Cordani e Vandomos (1967) teremos:

espécies — Na > K > Ca > Mg > SiO₂

mob. re. — 1000 975 890 758 285

Estas sequências de mobilidades apresentadas, condizem com a realidade, apesar de, à primeira vista, parecer estranha a alta mobilidade do K. Esta poderia ser explicada, lembrando que o K, junto com grande parte do

Na está localizado nas fases menos bem cristalizadas dos basaltos, e portanto mais facilmente liberáveis. Além da facilidade de remoção, o K não tende a ser retido por neoformações em uma alteração do tipo monossialítica, como é o caso.

5.2.1.2. Equilíbrios Geoquímicos

As espécies dissolvidas liberadas das estruturas dos minerais em vias de alteração permanecem nas águas que percolam os perfis, reagindo entre si para formar minerais, ou se incorporam em estruturas de espécies em transformação. Este comportamento das espécies dissolvidas é regido pela concentração das soluções, induzida por outros agentes do meio ambiente, como a temperatura, a pluviosidade, o tempo de contacto entre a rocha e a água e a própria natureza da rocha.

O sistema tende a um equilíbrio, em cada caso, envolvendo um mineral primário, a solução e um mineral secundário.

A avaliação dos diversos equilíbrios possíveis dentro de um sistema rocha primária - água - ar - material secundário, é possível através da termodinâmica e cinética química.

A rocha primária, no caso, é constituída predominantemente por feldspatos cálcicos e piroxênios cálcio magnesianos e ferruginosos.

Dentre os minerais secundários mais comuns em basaltos alterados, destacam-se a caolinita, gibbsita,

óxido de ferro, e secundariamente, esmectitas.

As reações de equilíbrio entre feldspatos, caolinita, montmorilonita e gibbsita e seus respectivos campos de estabilidade, têm sido extensamente estudadas na literatura especializada.

A seguir serão apresentados alguns exemplos de reações de equilíbrio importantes na alteração de rochas básicas, cujas constantes a 25°C são aquelas obtidas por Robie e Waldbaum (1968) a 1 atm.

— Transformação de anortita em caolinita

$$\log K = \log \frac{(\text{Ca}^{++})}{(\text{H}^+)^2} = 16,41$$

Este equilíbrio depende apenas do pH e da concentração de Ca^{++} , não sofrendo influência da sílica dissolvida.

— Transformação de anortita em gibbsita

$$\log K = \log \frac{(\text{Ca}^{++})}{(\text{H}^+)^2} - 2 \log (\text{H}_4\text{SiO}_4) = 6.78$$

Nesta reação de equilíbrio há uma perda de sílica, de modo que esta espécie dissolvida influi no equilíbrio, assim como o Ca^{++} e o pH.

— Transformação de caolinita em gibbsita

$$\log K = \log(H_4SiO_4) = -4,82$$

Neste equilíbrio exerce influência apenas o teor de sílica dissolvida.

Em gráfico dos campos de estabilidade de anortita, caolinita e montmorilonita cálcica, segundo os valores da relação $\log(\text{Ca}^{++})/(\text{H}^+)^2$ e $\log(\text{H}_4\text{SiO}_4)$ (FIGURA 29), plotou-se a média das águas superficiais sobre basaltos (TABELA 18) e as médias trimestrais e anual do Jacutinga (TABELA 19).

Observa-se que todas as análises plotadas' caíram no campo de estabilidade da caolinita, próximo dos domínios da montmorilonita. Convém, no entanto, salientar que as medidas de pH consideradas, foram tomadas no laboratório, cerca de 24 horas após a coleta. Os valores reais devem se situar um pouco abaixo dos determinados para o pH, adentrando mais ainda o campo da caolinita.

FIGURA 29:- CAMPOS TEÓRICOS DE ESTABILIDADE DE MINERAIS EM AMBIENTE AQUOSO SUPERFICIAL, EM RELAÇÃO A $\text{LOG} (\text{Ca}^{++})/(\text{H}^+)^2$ E $\text{LOG} (\text{H}_4\text{SiO}_4)$. (1,2,3,4 - MÉDIAS TRIMESTRAIS DO CÓRREGO JACUTINGA; J - MÉDIA ANUAL DO CÓRREGO; B - MÉDIAS DOS RIOS DA TABELA 18).

Quando foi abordada a mobilidade relativa, o K^+ foi o íon mais móvel na bacia do Jacutinga. Caso este íon fizesse parte de um feldspato, para ele ser mais alterável do que um equivalente sódico, a relação Na^+/K^+ nas águas deveria ultrapassar 2.400 (Tardy, 1969), cifra praticamente inacessível em meios naturais. O que se desprende disso é que o K^+ , sendo mais liberado do que os outros íons, deve ocorrer junto com grande parte do sódio, na massa débilmente cristalizada que preenche os espaços entre os plagioclásios cálcicos, piroxênios e outros minerais em menores proporções.

A situação observada, da colocação das águas consideradas no campo de estabilidade da caolinita, concorda com as observações de diversos autores como Tardy (1969) sobre as águas de países úmidos. O citado pesquisador observou que, em países áridos e temperados, ao fim de uma longa estação seca, os pontos se aproximam do domínio de estabilidade da montmorilonita.

É importante ter-se em vista que o gráfico e as observações no que se refere à montmorilonita, são um tanto imprecisas, uma vez que se considera, normalmente, uma montmorilonita cálcica, idealizada, o que não expressa a realidade na maioria dos casos. Geralmente, as montmorilonitas dos basaltos contêm maiores quantidades de Fe e outros elementos em menores quantidades, na camada octaédrica. Sobre equilíbrios envolvendo estes tipos de montmorilonitas não se tem dados termodinâmicos precisos.

De acordo com o comportamento da sílica durante processo intempérico, podem ser estabelecidos tipos geoquímicos de alteração. A sílica pode: alimentar minerais em vias de desenvolvimento; combinar-se com a alumina e outros íons em neoformações; ser eliminada das estru

turas silicáticas sob processos de degradação ou de hidrólise.

Pédro(1966), baseado no comportamento da sílica, propôs quatro grandes tipos de alteração: alitização; monossilitização; hemissialitização; bissialitização.

No caso da formação da gibbsita, há uma lixiviação completa da sílica e dos cátions básicos, ocorrendo uma alitização, enquanto que na solução, a proporção entre as bases e a sílica é igual à da rocha.

Quando há uma completa evacuação das bases, permanecendo uma parte da sílica, e o mineral neoformado é a caolinita ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2$), há um processo de monossilitização.

Se há neoformação de materiais amorfos ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de 0,5 a 1,2 — Tardy, 1969) ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=1$ em basalitos do Cameroun - Sieffermann, 1969) ocorre a chamada hemissialitização.

Nos domínios da bissialitização há formação de montmorilonita ou de vermiculita, provocando uma relação $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ superior a 2.

Quando há alojamento entre as camadas de montmorilonita, de átomos de alumínio interfoliar, a relação $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ pode ser semelhante a dois, se aproximando do campo da caolinita. Se o processo for analisado do ponto de vista mineralógico, teremos uma bissialitização e do ponto de vista geoquímico uma monossilitização mascarada.

No caso da formação de montmorilonitas férri

cas e magnesianas, pode ser estabelecida uma relação sílica/alumina semelhante a dois, caindo no campo da monossialitização. Este fenômeno pode ocorrer no caso de rochas básicas, como aquelas da região estudada.

Uma quantificação de parâmetros que podem definir os tipos geoquímicos de alteração, pode ser conseguida através dos métodos propostos por Pédro(1964, 1966) e por Tardy(1969).

— Método de Pédro (1964,1966)

Este método baseia-se na comparação dos valores das relações moleculares L e R nas águas de alteração e R_k nas rochas, sendo:

$$L = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO}}$$

$$R = \frac{\text{SiO}_2 \text{ combinada}}{\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO}}$$

$$R_k = \frac{\text{SiO}_2 \text{ combinada} - 2.\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO}}$$

Segundo Pédro, se:

1. $L > R$, há uma eliminação total de sílica combinada, havendo uma individualização da alumina, caracterizando uma alitização.

2. $L = R_k$, há uma retenção parcial de sílica, que se combina com a alumina formando caolinita, em um processo de alteração monossialítica.

3. $L < R_k$, é evacuada menos sílica, em uma proporção que decorre da formação de montmorilonita e vermiculita, dentro de uma alteração bissialítica.

— Método de Tardy (1969)

Como o método de Pédro é muito preciso a penas quando a composição mineralógica da rocha mãe é bem conhecida e o cálculo da somatória das bases atribui peso igual a cada uma delas, Tardy propôs um método que leva em conta as proporções em que cada cátion básico é relacionado à sílica.

O método foi proposto para rochas da família dos granitos e dos basaltos.

A partir da composição química da rocha, (basalto), expressa em proporções moleculares (TABELA 20), calcula-se a proporção dos óxidos distribuídos nos minerais fundamentais (TABELA 21).

Os silicatos ferromagnesianos são representados nesta composição teórica, apenas pelo magnésio. Isto se justifica pelo fato de que na alteração, o Mg destes minerais deve intervir sozinho para explicar a sílica, pois o ferro liberado não é evacuado.

As proporções que correlacionam os cátions básicos liberados à sílica e alumina são:

6	de K_2O	liberado para 1 de SiO_2
6	de Na_2O	liberado para 1 de SiO_2
1,42	de CaO	liberado para 1 de SiO_2
0,42	de CaO	liberado para 1 de Al_2O_3
1	de MgO	liberado para 1 de Al_2O_3
1	de K_2O	liberado para 1 de Al_2O_3
1	de MgO	liberado para 1 de Al_2O_3

ÓXIDOS	% EM PESO	PESO MOLECULAR	PROPORÇÃO MOLECULAR
SiO_2	51,55	60,09	85,79
Al_2O_3	10,80	101,96	10,59
Na_2O	1,40	62,00	2,26
K_2O	0,36	94,20	0,38
CaO	10,53	56,08	18,78
MgO	5,32	40,31	13,20

TABELA 20:- PERCENTAGEM EM PESO E PROPORÇÕES MOLECULARES DOS ÓXIDOS DOMINANTES NO BASALTO DO CÔRREGO JACUTINGA.

MINERAIS FUNDAMENTAIS	PROPORÇÕES MOLECULARES DOS ÓXIDOS		
ORTOCLÁSIO	0,38 de K_2O	0,38 de Al_2O_3	2,28 de SiO_2
ALBITA	2,26 de Na_2O	2,26 de Al_2O_3	13,56 de SiO_2
ANORTITA	7,95 de CaO	7,95 de Al_2O_3	15,90 de SiO_2
WOLLASTONITA	10,83 de CaO		10,83 de SiO_2
ENSTATITA	13,20 de MgO		13,20 de SiO_2

TABELA 21:- PROPORÇÕES MOLECULARES DOS ÓXIDOS DISTRIBUÍDOS NOS MINERAIS FUNDAMENTAIS, REPRESENTANDO UMA COMPOSIÇÃO NORMATIVA TEÓRICA DOS BASALTOS DO CÔRREGO JACUTINGA.

Assim a sílica liberada será:

$$\text{SiO}_2 \text{ fixa} = 6\text{K}_2\text{O}_{\text{evac.}} + 6\text{Na}_2\text{O}_{\text{evac.}} + 1,42\text{CaO}_{\text{evac.}} + \text{MgO}_{\text{evac.}} + \text{SiO}_2 \text{ evac.}$$

e a alumina fixada será:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ fixa} = 0,42\text{CaO}_{\text{evac.}} + \text{Na}_2\text{O}_{\text{evac.}} + \text{K}_2\text{O}_{\text{evac.}}$$

Com estes dados se pode calcular o R_f que é definido como sendo a relação entre a sílica fixada e a alumina fixada ou:

$$R_f = \frac{\text{SiO}_2 \text{ fixa}}{\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ fixa}} = \frac{6\text{K}_2\text{O}_{\text{evac}} + 6\text{Na}_2\text{O}_{\text{evac}} + 1,42\text{CaO}_{\text{evac}} + \text{MgO}_{\text{evac}} - \text{SiO}_2 \text{ evac}}{\text{K}_2\text{O}_{\text{evac}} + \text{Na}_2\text{O}_{\text{evac}} + 0,42\text{CaO}_{\text{evac}} + \text{MgO}_{\text{evac}}}$$

A aproximação com que é calculado o R_f depende, naturalmente, da precisão com que se estabelece a mineralogia e da ação de mecanismos que podem fixar principalmente elementos como o Cálcio e o Magnésio.

Serão, agora, efetuados cálculos do tipo geológico de alteração a que estão submetidas as rochas da bacia hidrográfica do Córrego Jacutinga.

— Método proposto por Pédro

$$R = \frac{55,77}{2,26 + 0,38 + 18,78 + 13,20} = 1,61$$

$$R_K = \frac{55,77 - 21,18}{2,26 + 0,38 + 18,78 + 13,20} = 1,00$$

$$L = \frac{42,52}{3,4 + 1,7 + 15,98 + 8,76} = 1,43$$

FIGURA 30:- TIPO GEOQUÍMICO DE ALTERAÇÃO DAS ROCHAS BÁSICAS DO CÓRREGO JACUTINGA, SEGUNDO MÉTODO DE PÉ DRO.

FIGURA 31:- TIPO GEOQUÍMICO DE ALTERAÇÃO DAS ROCHAS BÁSICAS DO CÓRREGO JACUTINGA, SEGUNDO MÉTODO DE TARDY.

— Método proposto por Tardy

$$R_f = \frac{6(3,37) + 6(1,70) + 1,42(15,98) + 8,76 - 42,56}{3,37 + 1,70 + 0,42(15,98)} = 1,64$$

O tipo geoquímico de alteração das rochas básicas da região é a monossialitização, como indicam, tanto os valores de R_k , R , L e R_f calculados anteriormente (FIGURA 30 e FIGURA 31) como também a análise mineralógica por Raios X de fases alteradas do basalto, onde predomina largamente a caolinita, sobre quaisquer outros tipos de argilominerais.

Jogando-se com a composição média dos basaltos e a composição média das águas do Jacutinga, se obtém:

$$R_k = 1,25 \quad R = 2,12 \quad L = 1,43 \quad R_f = 1,54$$

caracterizando uma alteração monossialítica, caracteriza esta que é válida para a região basáltica do Noroeste do Paraná.

No Jacutinga pelo fato das águas correrem diretamente sobre rocha e os solos serem pouco profundos, a bacia é bem representativa para a alteração de basaltos.

A composição química de médias das águas dos rios gerais sobre basalto não pode com precisão, ser considerada como resultante de um equilíbrio entre rocha em alteração - água. Na realidade, as águas superficiais, correm em sua maior parte sobre solos ferralíticos, já profundamente alterados e desenvolvidos.

5.2.2. Águas relacionadas às Formações Suprabasálticas (ARENITOS)

5.2.2.1. Caracterização das Espécies Dissolvidas

Para a caracterização química das águas relacionadas às formações arenosas, foram consideradas sesenta e duas amostras de águas superficiais e dezenove sub-superficiais (TABELA 22).

As análises de amostras de rios estão assim distribuídas:

- . 13 no Córrego Horácio em Santa Izabel do Ivaí;
- . 22 no Córrego Vinte e Um em Santa Izabel do Ivaí;
- . 23 no Ribeirão do Rato em Rondon;
- . 01 no Rio Piava em Umuarama;
- . 02 no Rio Bolívar em Cianorte.

Nos Córregos Vinte e Um, Horácio e Ribeirão do Rato, obteve-se dados de descarga líquida e sólida em suspensão.

Na TABELA 22 constam análises genéricas de águas sobre o Caiuã, extraídas daquelas realizadas nos laboratórios da ARH, por interesse do órgão ou de terceiros. As TABELAS 23, 24 e 25, são continentes dos resultados das análises realizadas especificamente para este trabalho nos Córregos Horácio, Vinte e Um e Ribeirão do Rato.

AS FIGURAS 32, 33, 34 e 35, compõem respectivamente a representação gráfica em diagrama de Piper das análises genéricas sobre o Caiuã, do Córrego Horácio, Vinte e Um e Ribeirão do Rato.

Nº	DATA	MUNICÍPIO	L.DE COLETA	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SiO ₂	CO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	pH
1	19/07/76	GUAIRAÇA	P.TUBULAR II	0,80	3,30	1,00	0,29	22,5	7,32	tr	2,0	2,00	5,95
2	21/07/76	GUAIRAÇA	P.TUBULAR I	0,95	2,95	1,00	0,29	11,0	6,10	tr	2,5	2,21	5,80
3	28/07/76	XAMBRE	P.TUBULAR	0,95	3,80	4,64	0,85	22,0	23,18	tr	1,5	2,40	6,80
4	31/07/76	UMUARAMA	RIO PIAVA	1,00	3,00	3,16	1,87	13,5	15,86	tr	2,0	8,84	6,60
5	05/08/76	CID.GRANDE	P.TUBULAR	0,90	4,25	3,52	1,14	22,5	12,20	tr	1,0	9,30	6,60
6	13/08/76	N.LONDRINA	RIB.	1,25	3,00	3,56	0,38	17,5	17,10	tr	1,0	0,89	6,30
7	12/10/76	CIANORTE	RIO BOLIVAR	0,45	2,25	1,60	1,36	14,0	7,3	0,0	0,0	6,64	6,55
8	13/10/76	IPORÁ	ETA In Nat.	2,10	3,20	3,60	1,77	20,0	25,6	0,0	1,5	0,53	6,45
9	20/10/76	Ma.HELENA	P.TUBULAR II	2,40	4,40	21,82	3,82	25,0	98,82	1,0	0,5	0,22	7,40
10	29/10/76	INAJÁ	P.TUBULAR	1,85	3,15	5,36	1,02	25,0	31,72	0,0	0,0	1,0	6,95
11	31/10/76	C.D'OESTE		0,80	2,30	1,20	0,97	10,0	4,27	0,0	0,0	4,0	6,00
12	02/11/76	PÉROLA	P.TUBULAR II	0,65	2,35	2,56	2,79	12,0	15,86	0,0	1,0	8,85	6,30
13	30/11/76	IPORÁ	MANANCIAL X	1,25	2,00	2,40	1,07	15,0	12,20	0,0	1,5	4,07	6,85
14	07/12/76	A.PIQUIRI	ETA In Nat.	0,90	3,70	4,38	1,14	20,0	26,84	0,0	1,0	0,40	7,80
15	12/12/76	CIANORTE	RIO BOLIVAR	0,60	2,30	3,59	0,99		10,98	0,0	0,0	9,74	7,00
16	13/12/76	XAMBRE	ETA In Nat.	0,90	4,20	3,68	0,75	20,0	15,86	0,0	1,0	4,12	6,75
17	08/03/77	PARANAVAÍ	ETA In Nat.	1,00	3,80	3,36	1,53	20,0	17,08	0,1	1,5	9,72	7,30
18	08/03/77	N.ESPERANÇA	P.TUBULAR	0,50	1,20	1,48	0,34	14,0	8,54	0,0	0,0	0,93	6,75
19	11/03/77	CIANORTE	P.TUBULAR	1,15	3,50	23,98	1,65	15,0	95,16	tr	0,0	tr	7,65
20	21/03/77	P.DO NORTE	CAPTAÇÃO ETA	1,25	1,85	4,56	0,99	14,0	21,96	0,0	2,0	2,25	6,90
21	21/03/77	P.DO NORTE	CAPTAÇÃO ETA	1,30	1,85	4,48	1,04	16,0	19,52	0,0	1,5	2,34	6,75
22	22/03/77	S.ANTº CAIUÁ	P.TUBULAR	0,85	2,00	1,80	0,34	25,0	10,98	tr	1,5	0,03	5,90
23	02/04/77	MARILENA.	P.TUBULAR	1,30	3,00	2,92	0,59	23,0	18,30	1,0	2,0	0,0	6,70

TABELA 22:- PARÂMETROS QUÍMICOS DE AMOSTRAS DE ÁGUAS COLETADAS EM SEDIMENTOS SUPRA-BASÁLTICOS RELACIONADOS À FORMAÇÃO CAIUÁ, NO PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE JULHO DE 1976 E ABRIL 1977. AS ESPÉCIES DISSOLVIDAS SÃO DADAS EM mg/l.

Observa-se que, ao contrário das águas relacionadas aos basaltos, não há uma grande concentração de pontos em uma região determinada da nuvem. Os pontos estão espalhados e este aspecto pode ser explicado pela heterogeneidade composicional, química e mineralógica das rochas correlacionadas à Formação Caiuá.

Os Córregos Horácio e Vinte e Um, possuem uma certa unidade composicional, caracterizada pela superposição das nuvens de pontos representando as análises de suas águas (FIGURAS 33 e 34).

O Córrego Vinte e Um apresenta uma maior dispersão de pontos do que o Horácio, que tem sua composição menos heterogênea em termos de variação anual. As médias anuais destes dois cursos de água, principalmente no que diz respeito aos cátions é bastante semelhante. O Horácio, em sua composição aniônica apresenta teores mais elevados, em cloretos e nitratos.

O Ribeirão do Rato, apresenta uma tendência composicional em direção às águas basálticas. Isto pode ser explicado pela proximidade do basalto na região, o qual aflora um pouco mais a jusante do local onde foram feitas as amostragens. Um poço tubular existente no local alcança o contato Caiuá-basalto a 20 metros de profundidade, o que pode explicar a diferença de composição encontrada neste rio. As águas subterrâneas que alimentam o Ribeirão podem sofrer portanto a influência do basalto próximo e contribuir para a variação de composição exibida.

O Rato é, dentre os três rios estudados, aquele que possui maior quantidade de sólidos dissolvidos, 46,1 mg/l em média, enquanto que o Vinte e Um e Horácio apresen

Nº	DATA	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SiO ₂	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	pH	T
1	15/03/76	0,65	2,2	1,0	0,58	9,0	7,32	1,5	4,0	-	-
2	16/05/76	0,7	2,3	0,84	0,72	12,0	7,32	2,5	3,64	6,0	22
3	11/06/76	0,8	2,35	2,12	0,72	10,0	8,54	2,0	1,95	6,0	-
4	17/07/76	0,7	2,4	1,04	0,63	18,0	7,93	1,5	3,54	6,52	16
5	11/08/76	0,9	2,95	0,8	1,46	11,0	11,0	2,5	2,43	6,6	20
6	09/09/76	0,6	2,65	1,60	0,85	9,0	11,0	1,5	2,7	6,5	17
7	18/10/76	0,95	2,2	1,08	0,78	11,0	11,0	0,0	2,83	6,3	23
8	12/12/76	0,75	2,6	2,0	0,53	11,0	9,76	1,0	2,66	6,6	23
9	27/01/77	1,3	2,1	1,88	0,63	13,0	12,2	0,5	2,88	6,6	23
10	01/05/77	0,9	2,3	1,24	0,72	20,0	8,54	1,0	4,42	6,3	22
11	25/06/77	0,8	2,65	1,32	1,22	14,0	10,98	0,5	2,0	6,6	20
12	22/07/77	1,12	2,40	1,28	0,92	14,0	9,76	0,5	2,41	7,0	21
13	26/08/77	0,6	2,36	1,64	0,95	12,0	9,76	2,5	2,87	7,15	21

TABELA 23:- ANÁLISES QUÍMICAS DE ÁGUAS DO CÓRREGO HORÁCIO, COLETA
DAS EM 1976 e 1977 NO " BARRACO DE ZINCO ".

Nº	DATA	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SiO ₂	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	pH	T
1	23/07/74	0,8	2,75	4,36	0,97	14,0	17,08	2,0	4,43	6,6	19,4
2	08/09/74	0,93	2,90	4,40	0,61	26,0	10,30	2,5	11,9	6,6	-
3	14/09/74	0,95	3,80	4,56	0,80		14,60	2,0	5,75	6,4	-
4	22/11/74	0,75	3,15	4,80	0,32	15,0	13,42	3,5	3,54	6,5	-
5	14/12/74	0,60	2,25	4,00	0,30	26,0	15,86	2,0	0,0	6,8	32,0
6	18/01/75	0,75	3,45	3,20	1,55	15,0	17,08	3,0	3,54	6,9	25,5
7	30/01/75	1,30	2,80	4,4	0,65	20,0	16,0	3,0	0,0	6,5	23,0
8	06/02/75	0,85	3,15	5,04	0,29	15,0	18,5	2,5	1,7	6,2	25,0
9	20/02/75	1,85	1,65	4,85	2,71	25,0	30,25	1,8	0,88	7,0	-
10	03/03/75	0,5	2,7	3,12	1,26	15,0	18,30	2,7	3,54	6,7	24,5
11	24/06/75	0,7	2,5	2,8	1,38	15,0	13,4	2,2	5,53	6,4	-
12	24/07/75	0,8	3,1	2,2	1,82	12,0	18,3	0,5	1,41	6,4	14,0
13	26/11/75	0,45	1,35	3,2	1,56	16,0	17,08	1,53	4,34	6,85	23,0
14	25/02/76	0,8	2,75	3,0	1,21	28,0	14,64	0,5	2,2	6,45	-
15	15/03/76	0,72	2,85	2,24	1,41	11,0	12,2	1,0	6,2	6,7	23,0
16	08/04/76	1,1	2,55	2,32	1,24	18,0	12,2	1,0	6,64	6,5	22,0
17	16/05/76	0,75	2,80	2,44	1,21	13,0	13,42	1,0	6,2	6,55	20°C
18	09/06/76	0,75	3,0	2,64	1,34	10,0	15,86	2,0	tr	6,55	-
19	18/07/76	1,30	2,85	2,84	1,14	20,0	13,40	1,0	7,08	6,35	-
20	09/09/76	0,7	3,3	3,36	1,58	10,0	18,3	1,5	6,42	6,65	18
21	28/01/77	1,0	2,5	3,64	1,22	15,0	18,3	0,5	2,36	6,85	33
22	02/05/77	0,85	2,65	2,68	1,36	25,0	12,2	0,5	7,51	6,9	26
23	26/06/77	1,7	3,1	3,2	2,07	12,0	15,8	1,0	tr	7,0	24

TABELA 25:- ANÁLISES QUÍMICAS DE ÁGUAS DO RIBEIRÃO DO RATO, COLETADAS EM 1974, 1975, 1976 e 1977 NO " POÇO ARTESIANO ".

- ▲ Águas subterrâneas
- Águas superficiais
- Médias anuais dos rios Ivaí(I),
Horácio(H), Vinte e Um(V) e Rato(R)

FIGURA 32 DIAGRAMA DE PIPER, REPRESENTANDO A COM
POSIÇÃO QUÍMICA DE AMOSTRAS DE ÁGUAS COLETADAS SO
BRE O CAIUÁ.

FIGURA 33:- DIAGRAMA DE PIPER, REPRESENTANDO A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE AMOSTRAS DE ÁGUAS COLETADAS NO CÔRREGO HORÁCIO, NA ESTAÇÃO DO BARRACO DE ZINCO (TABELA 28).

FIGURA 34:- DIAGRAMA DE PIPER, REPRESENTANDO A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE AMOSTRAS DE ÁGUAS COLETADAS NO CÔRREGO VINTE E UM, NA ESTAÇÃO DA FAZENDA VITÓRIA (TABELA 29).

FIGURA 35:- DIAGRAMA DE PIPER, REPRESENTANDO A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE AMOSTRAS DE ÁGUAS COLETADAS NO RI BEIRÃO DO RATO NA ESTAÇÃO DO POÇO ARTESIANO (TABELA 30).

tam valores médios de 29 mg/l e 31 mg/l respectivamente (TABELAS 23, 24, 25, 26, 27 e 28).

A seguir serão feitas algumas considerações sobre o comportamento das principais espécies dissolvidas nas águas sobre o Caiuá.

Sódio e Potássio

O sódio apresenta teores baixos, sendo proveniente de fase adsorvida em argilas, talvez um pouco de feldspatos e uma pequena parte pode ser cíclica.

O Potássio tem sua origem predominantemente relacionada aos feldspatos potássicos que são encontrados na rocha, podendo alguma porção deste elemento se encontrar ligada às argilas da matriz do arenito.

Na maioria das águas doces, o sódio sobrepõe largamente o potássio. Porém, em águas muitas diluídas drenando rochas sedimentares quartzosas esta relação pode ser inversa. Hem(1970) apresenta apenas duas análises em que a relação Na/K é inferior a 1,0 (0,42 e 0,3).

Em todas as análises de águas sobre a Formação Caiuá, os valores encontrados para Na/K foram inferiores a 0,8 (TABELA 27). A maioria dos valores situa-se entre 0,2 e 0,4.

A relação Na/K é um parâmetro muito útil para a determinação da litologia. Dos trabalhos realizados na ARH com poços profundos na região Caiuá, foi observado

que, praticamente, qualquer contribuição de água da Formação Serra Geral, eleva a relação Na/K para mais de 1,0.

Cálcio

Este elemento, nas águas em questão, disputa com o potássio a maior abundância.

Nos rios controlados, o maior teor médio foi encontrado no Ribeirão do Rato com 3,45 mg/l, frente a 1,37 mg/l e 1,28 mg/l para o Horácio e Vinte e Um, respectivamente.

No Ribeirão do Rato, o Caiuá ocorre sob um fácies mais argiloso, contendo esmectita e carbonato de cálcio, o que não ocorre nas bacias dos outros dois córregos, onde o Caiuá é exclusivamente arenoso, com pouco arenito argiloso e carbonatos. Este aspecto explicaria a maior presença de cálcio no primeiro.

Nas águas que drenam rochas relacionadas à Formação Caiuá sem o carbonato, o cálcio tem sua origem relacionada provavelmente aos materiais argilosos, estando a eles ligado por adsorção ou fazendo parte da estrutura dos argilominerais.

Magnésio

Este elemento concorre com o sódio para se situar na terceira posição em termos de abundância nas águas sobre o Caiuá. Sua origem está possivelmente ligada às argilas, uma vez que os ferromagnesianos não têm condi

ções de estabilidade nas rochas arenosas em pauta. Ele poderia também acompanhar o cálcio nos carbonatos.

O magnésio se faz mais abundante no Ribeirão' do Rato, com 1,1 mg/l, vindo depois o Córrego Horácio, 0,75 mg/l e em seguida o Vinte e Um, com 0,58 mg/l.

Foram observados teores máximos de 3,8 mg/l (TABELA 22) em águas subterrâneas, enquanto que a média destas águas situa-se em torno de 1,2 mg/l.

A relação Ca/Mg é de 3,14 para o Rato, sendo 1,83 para o Horácio e 2,21 para o Vinte e Um. As rochas da bacia hidrográfica do Ribeirão do Rato estão bastante enriquecidas em cálcio em relação ao magnésio. Esta relação está dentro de valores normais para águas continentais (3,3 a 0,65 - Custódio, 1966).

Sílica

Presente predominantemente como ácido silíci-co, a sílica tem sua fonte principal nas argilas, feldspatos e variedades criptocristalinas de sílica.

Observa-se que teores mais elevados são encontrados em águas sub-superficiais, onde normalmente a concentração de sólidos dissolvidos é maior (TABELA 22).

O Ribeirão do Rato, entre os rios do Caiuã é o que maior teor de sílica apresenta, com 16,98 mg/l vindo depois o Vinte e Um com 13,30 mg/l e o Horácio com 11,69

mg/l.

Seus teores nas águas sobre o Caiuá, a primeira vista não são baixos como seria de se esperar, em níveis de pH normalmente inferiores a 7 e constituição litológica predominantemente quartzosa.

A solubilidade do quartzo se situa em torno de 16 ppm de sílica (Krauskopf, 1967) nas condições encontradas. Estando os teores em sílica em níveis superiores a 10, se deduz que o fornecimento de sílica está sendo mantido por outra fonte mineralógica, pois nestas condições o quartzo é praticamente insolúvel.

Ferro

O ferro se encontra essencialmente estável nas rochas relacionadas à Formação Caiuá, depositada em ambiente aerado, havendo todo este elemento se estabilizado como óxido e ou hidróxido de Fe^{3+} .

Os teores nesta espécie dissolvida são, portanto, muito pouco elevados. Foram detectados valores máximos de 2,4 mg/l, porém, normalmente as cifras são inferiores a 0,5 mg/l. Possivelmente os valores mais elevados se referem a suspensões coloidais ultra finas, não retidas pela filtração.

Espécies Carbônicas

Das espécies carbônicas o HCO_3^- é a que ocorre mais significativamente devido ao pH próximo a neutralidade, havendo também uma certa quantidade de H_2CO_3 . Por este motivo, as espécies carbônicas são expressas em termos de bicarbonato.

Este ânion tem origem na dissolução do CO_2 atmosférico e na solubilização de carbonatos da matriz do arenito, em casos como o do Ribeirão do Rato. Nele, realmente, o teor em bicarbonato, 15,25 mg/l é mais elevado do que no Vinte e Um, 9,72 mg/l e Horácio, 9,62 mg/l.

Foram detectados teores mínimos de 6,1 mg/l e máximos de 98,82 mg/l, ambos correspondendo a águas subterrâneas (TABELA 22).

Cloreto

Este ânion tem seus teores distribuídos muito heterogeneamente nas águas relacionadas ao Caiuã. Foram encontrados teores máximos de 4 mg/l, sendo as médias do Ribeirão do Rato, Córrego Vinte e Um e Córrego Horácio respectivamente 1,77 mg/l, 1,11 mg/l e 1,35 mg/l.

Torna-se difícil conferir ao cloreto destas águas uma origem que não seja pelo menos remotamente oceânica ou, em casos especiais, devido a eventuais contaminações.

Não foi observada qualquer correlação razoável do Cl^- com o Na^+ .

Sulfato

O sulfato está presente como traço nas águas investigadas. Foi detectado 1,0 mg/l em apenas uma amostra, havendo uma outra apresentado 0,1 mg/l (TABELA 22), valores estes sobre os quais pode ser lançada uma suspeita de contaminação.

Nas águas dos três cursos mais estudados fo

ram detectados, quando muito, traços de $\text{SO}_4^{=}$.

Nitrato

Presente em quantidades muito variáveis, é o nitrato geralmente o segundo ânion em abundância nas águas ligadas ao Caiuã.

Os maiores teores são relacionados a águas superficiais, 9,7 mg/l, havendo algumas amostras em que o NO_3^- está praticamente ausente.

O Ribeirão do Rato apresenta teores de quase 4 mg/l, enquanto que o Córrego Horácio mostra uma média de 2,9 mg/l e o Vinte e Um 0,9 mg/l (TABELAS 26, 27 e 28). A incidência maior do NO_3^- no Ribeirão do Rato deve ter sido influenciada pela poluição urbana provocada pela cidade de Rondon.

5.2.3. Variações Sazonais nos Rios da Bacia do Ivaí

Como principais agentes causadores de variações sazonais temos a pluviosidade, refletida na vazão dos rios e a temperatura ambiente, fatores estes que poderão agir diferentemente sobre litologias diversas.

A região é relativamente quente ($T_m = 20^\circ\text{C}$), com pequena amplitude térmica, e a pluviosidade relativamente alta e irregularmente distribuída e insuficiente para provocar a lixiviação total de espécies dissolvidas liberada dos basaltos. Estes aspectos conferem aos solos da região uma espécie de supersaturação em materiais solúveis, durante a época das vazões baixas, ou seja: no 2º e 3º trimestres. Nas águas altas do início e final do ano, as espécies solúveis são incorporadas pelas águas, sendo neutrali

TRIMESTRES	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SiO ₂	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	pH	TOTAL DE SÓLIDOS	Na ⁺ /K ⁺⁺	Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺
1º	0,98	2,15	1,44	0,61	11,0	9,76	1,0	3,4	6,6	30,34	0,46	2,36
2º	0,80	2,40	1,38	0,85	14,0	8,85	1,5	3,0	6,2	32,78	0,39	1,62
3º	0,83	2,60	1,17	0,97	13,0	9,92	1,5	2,8	6,7	32,79	0,35	1,21
4º	0,85	2,40	1,54	0,66	11,0	10,35	0,5	2,7	6,4	30,00	0,35	2,39
MÉDIA ANUAL	0,87	2,99	1,98	0,77	12,2	9,72	1,13	2,98	6,5	31,48	0,37	1,88

TABELA 26:- VALORES TRIMESTRAIS MÉDIOS E MÉDIAS ANUAIS RELATIVAS A DADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS DE ÁGUAS DO CÓRREGO HORÁCIO, COLETADAS EM 1976 e 1977.

TRIMESTRES	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SiO ₂	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	pH	TOTAL DE SÓLIDOS	Na ⁺ /K ⁺	Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺
1º	0,75	2,38	1,21	0,45	13,0	10,0	1,46	0,82	6,2	43,61	0,32	2,69
2º	0,86	1,87	1,33	0,73	16,3	10,6	1,49	0,99	6,3	34,46	0,46	1,82
3º	0,55	2,05	1,22	0,66	12,9	9,57	1,56	0,58	6,3	29,52	0,27	1,85
4º	0,70	1,58	1,36	0,47	11,0	8,7	0,0	1,10	6,8	25,01	0,44	2,89
MÉDIA ANUAL	0,72	1,97	1,28	0,58	13,3	9,72	1,11	0,87	6,4	33,15	0,37	2,31

TABELA 27:- VALORES TRIMESTRAIS MÉDIOS E MÉDIAS ANUAIS RELATIVAS A DADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS DE ÁGUAS DO CÓRREGO VINTE E UM, COLETADAS EM 1974, 1975, 1976 e 1977.

TRIMESTRES	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SiO ₂	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	pH	TOTAL DE SÓLIDOS	Na ⁺ /K ⁺	Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺
1º	0,85	2,89	3,52	1,08	17,00	16,40	1,89	2,79	6,6	47,12	0,29	3,26
2º	0,98	2,77	2,68	1,43	15,50	13,81	1,28	4,31	6,6	43,28	0,35	1,87
3º	0,91	3,12	3,62	1,15	16,40	15,33	1,58	6,16	6,5	48,60	0,29	3,15
4º	0,60	2,25	4,00	0,73	19,00	15,45	2,34	2,63	6,7	47,00	0,27	5,48
MÉDIA ANUAL	0,84	2,76	3,45	1,10	16,98	15,25	1,77	3,97	6,6	46,50	0,30	3,44

TABELA 28:- VALORES TRIMESTRAIS MÉDIOS E MÉDIAS ANUAIS RELATIVAS A DADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS DE ÁGUAS DO RIBEIRÃO DO RATO, COLETADAS EM 1974, 1975, 1976 e 1977. AS ESPÉCIES DISSOLVIDAS SÃO APRESENTADAS EM Mg/l.

TRIMESTRES	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SiO ₂	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	pH	TOTAL DE SÓLIDOS	Na ⁺ /K ⁺	Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺
1º	1,61	0,81	7,44	1,78	25,71	37,12	1,36	0,34	6,97	76,17	1,99	4,18
2º	1,51	0,60	5,14	2,41	26,38	32,17	1,09	0,35	6,77	69,65	2,52	2,13
3º	1,59	0,90	5,61	2,06	26,71	33,08	1,19	0,66	7,01	71,80	1,77	2,71
4º	1,51	1,01	7,40	2,20	23,36	36,60	1,32	0,81	6,97	74,27	1,50	3,36
MÉDIA ANUAL	1,56	0,84	6,41	2,13	25,58	34,74	1,26	0,55	6,93	72,97	1,86	3,01

TABELA 29:- VALORES TRIMESTRAIS MÉDIOS E MÉDIAS ANUAIS RELATIVAS A DADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS DE ÁGUAS DO CÔRREGO JACUTINGA, COLETADAS EM 1974, 1975, 1976 e 1977.

zado o efeito diluidor do maior volume de escorrimento superficial. Deste modo, a maioria das espécies solúveis tem uma variação mais ou menos proporcional às vazões líquidas.

Nas regiões basálticas, representadas pelo Córrego Jacutinga, o comportamento do Ca^{++} , HCO_3^- , Cl^- , solidos totais dissolvidos e, de certo modo o K^+ , poderia ser explicado por um mecanismo como o supra mencionado. (FIGURA 36).

A sílica, aparentemente, tem seus teores a grosso modo inversamente proporcionais à vazão, apresentando comportamento sensível ao caráter diluidor do maior volume de água.

O Na^+ e o Mg^{++} , além do NO_3^- , variam muito pouco e irregularmente no decorrer do ano.

A variação da composição química das águas sobre o Caiuá é bem mais irregular do que aquelas encontradas nas águas sobre basaltos. Foram observadas inclusive variações diferentes entre os três rios estudados.

Para as águas do Ribeirão do Rato, o Cl^- , HCO_3^- , SiO_2 e Ca^{++} tem comportamento semelhante: seus teores mínimos são alcançados no segundo trimestre do ano, ocorrendo valores mais elevados no quarto trimestre ou, no caso do HCO_3^- , no primeiro trimestre. (FIGURA 37). Em linhas maiores este comportamento é diretamente proporcional à vazão.

O Na^+ e o Mg^{++} são inversamente proporcionais ao volume de escorrimento superficial: quanto mais água flui maior é a diluição nestas espécies.

FIGURA 36:- VARIAÇÕES TRIMESTRAIS MÉDIAS DE ESPÉCIES DISSOLVIDAS E DE VAZÕES LÍQUIDAS, OBSERVADAS DURANTE O ANO NO CÓRREGO JACUTINGA.

FIGURA 37:- VARIAÇÕES TRIMESTRAIS MÉDIAS DE ESPÉCIES DISSOLVIDAS E VAZÕES LÍQUIDAS, OBSERVADAS DURANTE O ANO, NOS: CÓRREGO VINTE E UM (V); CÓRREGO HORÁCIO (H); RIBEIRÃO DO RATO (R).

No Córrego Vinte e Um, apenas o Mg^{++} apresentou comportamento semelhante ao do Ribeirão do Rato. Esta espécie dissolvida é inversamente proporcional à vazão, assim como a sílica e o HCO_3^- .

Para o Córrego Horácio, além do Mg^{++} o HCO_3^- , segue o comportamento do Ribeirão do Rato.

O Ca^{++} nestes córregos, praticamente não varia de modo marcante, durante o ano, o que também ocorre com o NO_3^- .

Interessante é o caso da sílica. No Ribeirão do Rato ela apresenta valores mínimos no 2º trimestre, quando ocorrem os máximos no Vinte e Um e Horácio.

A diferença no comportamento da sílica e também de outras espécies dissolvidas entre os três cursos de água, pode ter relação com a maior presença de argilas e carbonatos, na matriz dos arenitos da bacia hidrográfica do Ribeirão do Rato. Neste Ribeirão, o efeito diluidor das águas do verão deve ser sobrepujado pela aceleração na liberação da sílica e Ca^{++} das argilas esmectíticas da matriz do arenito.

5.2.4. Influência das Chuvas e de Fontes de Poluição

Águas de regiões próximas ao mar sofrem influências sensíveis de um aporte atmosférico de sais de origem marinha, segundo extensa bibliografia da qual podem, dentre outros, ser destacados os trabalhos de Rankama e Saha (1962), Schoeller (1962) e (1963), Matveyev e Bashmakova (1967), Garrels (1973).

Segundo trabalho de Matveyev e Bashmakova (19

67), os íons Cl^- , Na^+ e K^+ , dominam em regiões próximas à costa.

No interior do continente, passa a predominar o ânion $\text{SO}_4^{=}$ e mais lentamente o Ca^{++} , podendo, às vezes haver predomínio do HCO_3^- nas águas atmosféricas.

Kolodjaiaia(1964) insinua que o conteúdo de NaCl na água pluvial diminui em um princípio inversamente proporcional a distância da costa. sucedendo algo semelhante a outros sais e íons. (Garrels, 1973).

Reismann e Ovard (1974) detectaram sensíveis diferenças nas concentrações de sais no ar, sob diferentes velocidades de ventos.

Normalmente, a mais de 200 Km da costa, os valores do íon cloreto, são inferiores a 2 ppm (Custódio, 1976). Segundo compilação daquele autor, o íon nitrato, em geral inferior a 2 ppm, oscila entre 0,02 e 12 ppm, podendo superar 20 ppm em áreas industriais, tendo também certa importância em zonas equatoriais, conferindo uma certa acidez à água.

A região ora estudada, está afastada do mar mais de 400 Km, se interpondo entre ela e o Atlântico, duas formações orográficas. Como foi salientado no capítulo sobre o Clima, estes aspectos tem influência marcante sobre a pluviosidade da região. Estes fatos contribuem para que os sais cíclicos, principalmente o NaCl, de origem atmosférica, tenham pequena influência na composição das águas superficiais da área.

A origem do Na^+ encontrado nas águas superficiais, descartado o possível quinhão atmosférico, seria então apenas o basalto. Para o Cl^- , se torna mais complexo

encontrar uma origem alternativa, uma vez que os basaltos normalmente, contêm apenas cerca de 160 ppm de Cl (Johns e Hung, 1966).

Autores como Schoeller(1968), mostram que o cloro transportado pelas chuvas, alcança totalmente o freático, onde se concentra. Já Loney(1965) e Hutton(1968), em Tardy,(1969), sugerem que os sais trazidos pelas precipitações não alcançam o freático totalmente, sendo antes utilizados parcialmente pela vegetação.

Tardy(1969), estudando águas dos Vosges, notou que, se a correlação entre Na^+ e Cl^- é boa, entre Na^+ e SiO_2 é melhor, significando que, talvez o Na^+ trazido pelas chuvas seria assimilado pela vegetação e somente o Cl^- iria se juntar ao Na^+ liberado pela hidrólise dos silicatos.

No caso particular das águas da região, o baixo teor de Na^+ relacionado ao Cl^- , sugere um consumo ou retenção de Na^+ , antes da incorporação das águas pluviiais pelo aquífero e pelos cursos de água superficial.

Nas águas estudadas, não é, a nosso ver, conveniente uma correção pura e simples do Na^+ , pela eliminação da parte correspondente à quantidade de Cl^- , uma vez que o primeiro aparenta provir maciçamente dos basaltos.

A larga utilização da região do Paraná, coberta pelos basaltos da Formação Serra Geral, para atividades agrícolas e agro-pastoris, pode exercer uma certa influência no sentido de um aumento na concentração de algumas espécies dissolvidas, como o NO_3^- e o K^+ .

Para as culturas predominantes na região, são

muito utilizados adubos do tipo NPK, onde o potássio e o Nitrato exercem papel fundamental.

A influência da dissolução de cinzas provenientes de grandes queimadas (Hicks, 1921) não parece ter ação muito efetiva na região, pois as últimas grandes queimadas ocorreram a mais de 15 anos, sendo portanto o material incinerado já totalmente eliminado do ciclo.

O teor NO_3^- apresentado pelas análises correspondentes às TABELAS 18 e 19, oscila entre 0,0 mg/l e 12,4 mg/l sendo este valor anotado no rio Liso em Capane ma, o que sugere fontes eventuais e descontínuas deste íon.

A presença de Currais de gado e mangueirões de suínos perto de pequenos cursos de água, como é o caso do Jacutinga, pode contribuir com algum nitrato encontrado.

No caso do Ribeirão do Rato, a poluição causada pelos efluentes urbanos é visivelmente notada nos altos teores de NO_3^- frente aos outros rios estudados.

5.3. REGIONALIZAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

5.3.1. Transporte Global de Sólidos na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí.

5.3.1.1. Sólidos em Suspensão

Adotando-se um esquema em que os dados obtidos no Córrego Jacutinga (TABELA 12) são representativos da Formação Serra Geral e a média dos Córregos Horácio e Vin te e Um e Ribeirão do Rato representa a Formação Caiuã (TABELAS 15, 16 e 17), pode ser feita uma estimativa da contribuição

da Sequência Paleozóica na vazão sólida em suspensão do Novo Porto Taquara.

As estimativas sobre a Sequência Paleozóica e os dados que levam a elas são constantes da TABELA 29. Estas estimativas são baseadas na Equação:

$$C_p \cdot Q_p \cdot f_p + C_s \cdot Q_s \cdot f_s + C_c \cdot Q_c \cdot f_c = C_T \cdot Q_T \cdot 100$$

onde:

- C_p = Concentração média das águas da Sequência Paleozóica.
- C_s = Concentração média das águas da Formação Serra Geral.
- C_c = Concentração média das águas da Formação Caiuá.
- Q_p = Vazão líquida específica média da Sequência Paleozóica.
- Q_s = Vazão líquida específica média da Formação Serra Geral.
- Q_c = Vazão líquida específica média da Formação Caiuá.
- f_p = Fração da bacia coberta pela Sequência Paleozóica.
- f_s = Fração da bacia coberta pela Formação Serra Geral.
- f_c = Fração da bacia coberta pela Formação Caiuá.

Para a estimativa da concentração de sólidos em suspensão foram feitos os seguintes cálculos:

$$C_p \cdot Q_p \cdot f_p = C_T \cdot Q_T - C_s \cdot Q_s \cdot f_s - C_c \cdot Q_c \cdot f_c$$

$$C_p \cdot 15 \cdot 0,27 = (118,0 \cdot 21) - (61 \cdot 24 \cdot 0,55) - (157 \cdot 20 \cdot 0,18)$$

$$C_p = 275 \text{ mg/l}$$

O valor obtido para C_p , é demasiadamente elevado para a Sequência Paleozóica que suporta rios de águas relativamente límpidas denotando baixo nível de transporte de sólidos em suspensão. Este fato, muito provavelmente vem refletir uma sub-estimativa dos valores de sólidos em suspensão para a Formação Serra Geral.

COMPARTIMENTO GEOLÓGICO	SEQUÊNCIA PALEOZÓICA	FORMAÇÃO S. GERAL	FORMAÇÃO CAIUÁ	B.DO IVAÍ ATÉ O NPT
Concentração de sólidos em sus- pensão - mg/l	275,0*	61,0	157,0	118,0
Vazão sólida es- pecífica em sus- pensão ton/Km ² / ano	130,0*	46,0	100,0	77,0
Vazão líquida específica l/s/Km ²	15,0	24,0	20,0	21,0
Porcentagem da bacia coberta	27	55	18	100

TABELA 30:- ESTIMATIVAS SOBRE A CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO DE RIOS QUE DRENAM A SEQUÊNCIA PALEOZÓICA, SOBRE A VAZÃO SÓLIDA DOS MESMOS E A TABULAÇÃO DOS VALORES EMPREGADOS NOS CÁLCULOS. OS VALORES COM ASTERÍSTICOS(*) FORAM ESTIMADOS, OS OUTROS DADOS SOBRE A SEQUÊNCIA PALEOZÓICA FORAM OBTIDOS NO RIO ALONSO NA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA DE PORTO MONTEIRO. OS DADOS SOBRE A FORMAÇÃO SERRA GERAL, SÃO AQUELES LEVANTADOS NO CÓRREGO JACUTINGA. A MÉDIA DOS VALORES DOS CÓRREGOS HORÁCIO E VINTE E UM e RIBEIRÃO DO RATO, REPRESENTA A FORMAÇÃO CAIUÁ.

A bacia do Jacutinga, portanto, gera sólidos em suspensão abaixo da média dos rios sobre basaltos da região. Estes rios, principalmente aqueles de maior porte, geralmente possuem águas barrentas na maior parte do ano, enquanto ~~que~~ o Jacutinga tem suas águas turvadas por material em suspensão apenas quando há chuvas e cheias, épocas de grande escoamento superficial.

Pelos aspectos discutidos, foi tentado o emprego de dados de concentração de sólidos em suspensão, obtidos em trabalho recente executado pela ARH no rio Arroio Guaçu, no Oeste paranaense, como representativos da Formação Serra Geral na bacia do Ivaí. Para uma concentração de sólidos em suspensão de 81,6 mg/l, obtida no Arroio Guaçu em 1977, e mantidos os outros valores da TABELA 30, se obtém uma concentração de 20% mg/l de sólidos suspensos no rio Alonso em Porto Monteiro sobre a Sequência Paleozóica. Este valor ainda é alto.

A observação e análise destes dados nos leva a efetuar algumas considerações: parece pouco provável que o Caiuá forneça, através de suas bacias hidrográficas, concentrações médias de sólidos em suspensão superiores a 300 mg/l, como no rio do Rato; as águas do rio Alonso, exceto em épocas de fortes chuvas, são relativamente limpas, evidenciando um transporte de material em suspensão não muito intenso; a vazão líquida específica média considerada para a Sequência Paleozóica, foi medida no Porto Monteiro nos anos de 1974 e 1975, podendo, para o período abrangido por este trabalho, ser algo maior o que acarretaria uma menor quantidade de sólidos em suspensão estimada; um fenômeno que pode ter concorrido para um acréscimo dos valores de sólidos em suspensão medidos no Novo Porto Taquara, em relação aos previstos, é a erosão das margens, mais ativa nos rios de maior porte da bacia.

5.3.1.2. Sólidos Dissolvidos

Através de cálculos semelhantes aos empregados com os sólidos em suspensão, baseados na EQUAÇÃO 1, pode-se fazer estimativas e comparar resultados com sólidos dissolvidos.

Para as espécies dissolvidas, os dados obtidos no Córrego Jacutinga serão extrapolados para toda a Formação Serra Geral.

Paralelamente, serão feitas também, estimativas com base na análise média dos rios sobre basaltos da TABELA 18 .

Representando o Caiuá, é tomada uma média dos resultados obtidos no Córrego Vinte e Um, Córrego Horácio e Ribeirão do Rato. Como o Ribeirão do Rato possui uma litologia e composição química que se acredita ser representativa de zonas marginais atuais do Caiuá, e as bacias dos dois córregos representam a parte interior da Formação, arbitrou-se no cálculo da média um peso 1 para o Ribeirão do Rato e 2 para os dados químicos dos dois córregos.

Os dados químicos e hidrológicos obtidos pela ARH no rio Alonso, na estação fluviométrica de Porto Monteiro, são aqui representantes das águas superficiais da Sequência Paleozóica.

De posse das informações supra-referidas, foram calculadas as vazões sólidas dissolvidas específicas e aporte total anual para cada espécie química analisada e total de sólidos dissolvidos, para cada compartimento da Bacia do Ivaí. Os resultados estão sumarizados nas TABELAS 31, 32, 33 e 34. Com base nestes dados chegou-se aos valores das TABELAS 35a e 35b, que contém valo

ESPÉCIE DISSOLVIDA	COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA mg/l	VAZÃO SÓLIDA DISSOLVIDA ESPECÍFICA ton/ano/Km ²	APORTE SÓLIDO DISSOLVIDO ton/ano
Na ⁺	1,56	1,18	21.912
K ⁺	0,84	0,64	11.885
Ca ⁺⁺	6,41	4,85	90.065
Mg ⁺⁺	2,13	1,61	29.898
tot. bases	10,94	8,28	153.760
SiO ₂	25,58	19,36	359.515
HCO ₃	34,74	26,30	488.391
Cl	1,26	0,95	17.642
NO ₃	0,55	0,42	7.799
TOTAL	73,07	55,29	1.026.735

TABELA 31 : ESTIMATIVAS DE VAZÕES SÓLIDAS DAS ESPÉCIES DISSOLVIDAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVAÍ, PARA OS RIOS SOBRE BASALTOS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL. NESTA TABELA FOI TOMADA POR BASE A COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA DO CÓRREGO JACUTINGA E SUA DESCARGA LÍQUIDA ESPECÍFICA DE 24 l/s/Km². FOI CONSIDERADA A ÁREA DE 18.570 Km² PARA A FORMAÇÃO AFLORANTE.

ESPECIE DISSOLVIDA	COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA	VAZÃO SÓLIDA DISSOLVIDA ESPECÍFICA	APORTE SÓLIDO DISSOLVIDO
	mg/l	ton/ano/Km ²	ton/ano
Na ⁺	1,92	1,45	26.926
K ⁺	1,14	0,86	15.970
Ca ⁺⁺	5,50	4,16	77.251
Mg ⁺⁺	2,22	1,68	31.198
tot. bases	10,78	8,16	151.351
SiO ₂	15,17	11,48	213.184
HCO ₃ ⁻	29,41	22,26	413.368
Cl ⁻	1,35	1,02	18.941
NO ₃ ⁻	2,19	1,66	30.826
TOTAL	58,90	44,58	827.851

TABELA 32 : ESTIMATIVAS DE VAZÕES SÓLIDAS DAS ESPÉCIES DISSOLVIDAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVAÍ, PARA OS CURSOS DE ÁGUA SOBRE BA SALTOS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL. NESTA TABELA FOI TOMADA POR BASE A COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA DOS RIOS SOBRE BASALTOS CONSTANTES DA TABE LA 21, E A DESCARGA LÍQUIDA ESPECÍFICA DO CÓRREGO JACUTINGA, DE 24 l/s/Km².

ESPÉCIE DISSOLVIDA	COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA	VAZÃO SÓLIDA DISSOLVIDA ESPECÍFICA	APORTE SÓLIDO DISSOLVIDO
	mg/l	ton/ano/Km ²	ton/ano
Na ⁺	0,76	0,48	2.923
K ⁺	2,31	1,46	8.891
Ca ⁺⁺	1,75	1,10	6.699
Mg ⁺⁺	0,75	0,47	2.862
tot. bases	5,57	3,51	21.376
SiO ₂	13,39	8,45	51.460
HCO ₃ ⁻	10,79	6,81	41.473
Cl ⁻	1,34	0,85	5.177
NO ₃ ⁻	2,31	1,46	8.891
TOTAL	33,42	21,08	128.377

TABELA 33 : ESTIMATIVAS DAS VAZÕES SÓLIDAS DAS ESPÉCIES DISSOLVIDAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO IVAÍ, PARA A MÉDIA DOS CURSOS DE ÁGUA SOBRE OS DEPÓSITOS SUPRA-BASÁLTICOS, FORMAÇÃO CAIUÁ. FOI TOMADA POR BASE A MÉDIA PONDERADA DAS COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DOS CÓRREGOS HORÁCIO E VINTE E UM E DO RIBEIRÃO DO RATO. AO ÚLTIMO FOI DADO UM PESO 50 % INFERIOR AO DOS OUTROS CÓRREGOS.

ESPECIE DISSOLVIDA	COMPOSIÇÃO QUÍ- MICA MÉDIA	VAZÃO SÓLIDA DISSOLVIDA ESPECÍFICA	APORTE SÓLIDO DISSOLVIDO
	mg/l	ton/ano/Km ²	ton/ano
Na ⁺	3,93	1,86	16.926
K ⁺	2,13	1,01	9.191
Ca ⁺⁺	10,04	4,75	43.225
Mg ⁺⁺	1,68	0,79	7.189
tot. bases	17,78	8,41	76.531
SiO ₂	17,56	8,31	75.621
HCO ₃ ⁻	47,98	22,70	206.570
Cl ⁻	1,25	0,59	5.369
NO ₃ ⁻	1,02	0,48	4.368
TOTAL	85,59	40,49	368.459

TABELA 34 : ESTIMATIVAS DE VAZÕES SÓLIDAS EM ESPÉCIES DISSOLVIDAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO IVAÍ, PARA OS RIOS QUE DRENAM A SEQUÊNCIA PALEOZÓICA. FOI TOMADA POR BASE A COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA DE 4 ANÁLISES E A VAZÃO LÍQUIDA ESPECÍFICA MÉDIA DO RIO ALONSO EM PORTO MONTEIRO EM 1974-1975.

ESPÉCIE DISSOLVIDA	COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA	VAZÃO SÓLIDA DISSOLVIDA ESPECÍFICA	APORTE SÓLIDO DISSOLVIDO
	mg/l	ton/ano/Km ²	ton/ano
Na ⁺	1,85	1,22	41.187
K ⁺	1,31	0,87	29.371
Ca ⁺⁺	6,17	4,08	137.741
Mg ⁺⁺	1,75	1,16	39.162
Tot. bases	11,09	7,33	247.461
SiO ₂	21,37	14,15	477.704
HCO ₃ ⁻	32,43	21,47	724.827
Cl ⁻	1,28	0,85	28.696
NO ₃ ⁻	0,93	0,62	20.931
TOTAL	67,06	44,42	1.499.619

TABELA 35a :- ESTIMATIVAS DAS CONCENTRAÇÕES EM ESPÉCIES DISSOLVIDAS NO RIO IVAÍ NO NOVO PORTO TAQUARA, CALCULADAS A PARTIR DOS DADOS DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA E VAZÕES LÍQUIDAS ESPECÍFICAS LEVANTADAS NOS TRÊS COMPARTIMENTOS GEOLÓGICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA. PARA A FORMAÇÃO SERRA GERAL FOI CONSIDERADA A MÉDIA DO CÔRREGO JACUTINGA (TABELA 29).

ESPECIE DISSOLVIDA	COMPOSIÇÃO QUÍ- MICA MÉDIA	VAZÃO SÓLIDA DISSOLVIDA ESPECÍFICA	APORTE SÓLIDO DISSOLVIDO
	mg/l	ton/ano/Km ²	ton/ano
Na ⁺	2,10	1,39	46.926
K ⁺	1,52	1,01	34.098
Ca ⁺⁺	5,69	3,77	127.275
Mg ⁺⁺	1,85	1,22	41.187
Tot. bases	11,16	7,39	249.486
SiO ₂	15,21	10,07	339.963
HCO ₃ ⁻	29,59	19,60	661.696
Cl ⁻	1,32	0,87	29.371
NO ₃ ⁻	1,97	1,30	43.888
TOTAL	59,26	39,25	1.325.080

TABELA 35b :- ESTIMATIVAS DAS CONCENTRAÇÕES EM ESPÉCIES DISSOLVIDAS NO RIO IVAÍ NO NOVO PORTO TAQUARA, CALCULADAS A PARTIR DOS DADOS DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA E VAZÕES LÍQUIDAS ESPECÍFICAS LEVANTADOS NOS TRÊS COMPARTIMENTOS GEOLÓGICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA. PARA A FORMAÇÃO SERRA GERAL FOI CONSIDERADA A MÉDIA DOS RIOS SOBRE BASALTOS CONSTANTES DA TABELA 18.

res estimados das vazões sólidas e composição química de espécies dissolvidas para o Rio Ivaí no Novo Porto Taquara(NPT).

Comparando-se estes valores calculados, com aqueles medidos no Novo Porto Taquara(TABELAS 36 e 37)nota-se uma maior aproximação de valores quando do emprego dos teores médios dos rios sobre basaltos, como representativos da Formação Serra Geral. Isto sugere uma deficiente representatividade do Jacutinga em relação àquela Formação (TABELA 38).

Com respeito às bases, sílica e bicarbonato, existe uma correlação muito boa entre os valores calculados e os estimados, havendo excessão apenas para o cloreto e nitrato.

Observa-se também, que a descarga líquida específica média, calculada para a bacia do Ivaí até o Novo Porto Taquara, através de dados obtidos em cada compartimento da bacia($20,80 \text{ l/s/Km}^2$), muito se assemelha a esta grandeza quando medida diretamente no local ($20,79 \text{ l/s/Km}^2$).

De todos os aspectos abordados, se depreende que os valores de composição média considerados para a Formação Caiuá e Sequência Paleozóica, são razoavelmente próximos aos valores reais. Para a Formação Serra Geral, a média mais representativa do compartimento geológico como um todo é, sem dúvida, aquela obtida através da média dos rios sobre basaltos.

Confirmadas as contribuições de cada parte da bacia em termos de sólidos dissolvidos, pode-se estimar a descarga sólida dissolvida total do rio Ivaí, assim como sua descarga líquida específica, o que está registrado na TABELA 39

A descarga líquida foi calculada pela soma

Nº	DATA	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SiO ₂	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	pH	T
1	12/07/74	1,96	1,30	7,21	1,00	18,0	34,2	2,5	1,77	7,1	
2	24/07/74	0,72	1,38	1,69	1,33	14,0	12,2	2,0	1,64	6,4	
3	06/08/74	1,47	0,60	2,92	0,20	20,0	11,0	2,5	2,74	5,2	
4	29/08/74	1,68	1,42	6,00	1,43	14,0	30,5	3,0	3,10	6,9	
5	24/09/74	1,32	1,25	6,41	1,22	20,0	30,5	1,5	1,77	7,4	28
6	05/09/74	2,0	2,4	4,80	2,82	14,0	29,3	1,5	2,66	6,8	22
7	11/10/74	1,78	1,30	5,56	1,58	12,0	30,5	2,0	0,88	7,3	26,8
8	13/12/74	1,30	1,1	7,6	0,6	16,0	31,7	2,5	2,43	6,9	
9	17/01/75	2,0	1,27	8,80	0,97	15,0	40,3	2,5	2,04	7,2	
10	29/01/75	1,9	1,4	8,52	0,21	15,0	30,5	2,0	0,66	6,9	
11	03/02/75	2,63	1,75	8,32	0,63	15,0	35,4	3,5	0,06	6,9	28
12	20/02/75	2,5	1,65	7,72	1,00	25,0	30,5	1,8	1,50	7,1	30
13	07/03/75	2,95	2,0	2,0	0,26	10,0	12,2	3,6	0,0	6,1	28
14	17/03/75	4,6	1,75	8,12	0,77	15,0	35,4	3,6	0,0	6,9	
15	21/03/75	3,8	1,75	6,4	2,06	15,0	30,5	2,7	1,77	7,1	
16	05/05/75	3,9	1,9	7,37	1,00	20,0	32,9	2,7	1,7	6,9	26
17	04/05/75	4,1	2,2	4,8	1,9	20,0	31,7	2,7	1,24	7,3	21
18	21/07/75	0,5	0,2	5,52	2,11	24,0	24,2	1,15	2,70	7,0	21
19	23/07/75	2,4	2,1	5,72	2,82	18,0	35,4	1,0	1,68	7,5	18
20	25/08/75	2,15	2,3	4,8	2,01	22,0	26,8	6,0	2,83	6,1	20,6
21	13/09/75	1,9	1,6	6,8	0,99	20,0	32,9	2,0	2,3	7,2	23
22	18/02/76	2,17	1,7	5,68	2,82	--	44,0	1,0	1,95	6,35	
23	08/04/76	1,9	1,3	4,84	1,77	18,0	28,1	1,5	1,33	6,8	
24	16/05/76	1,8	1,35	5,20	1,63	15,0	30,5	2,0	1,77	7,15	18
25	11/06/76	1,8	1,8	3,88	2,14	15,0	25,9	1,0	1,55	6,7	
26	17/07/76	1,75	1,45	5,00	1,65	34,0	24,4	2,5	0,66	7,23	15,8
27	14/08/76	2,65	1,55	5,16	2,55	11,0	29,3	1,5	1,33	7,2	20,6
28	09/09/76	2,25	1,10	6,85	2,41	14,0	39,0	1,0	1,77	7,3	18
29	18/10/76	2,4	1,8	5,56	3,09	16,0	34,0	2,0	1,95	7,1	18
30	27/01/77	2,1	1,85	8,21	0,97	24,0	35,4	0,5	2,13	7,25	25
31	22/07/77	1,76	1,37	5,17	2,12	12,0	28,06	0,0	0,0	7,2	20
32	28/08/77	2,47	1,86	5,77	2,41	20,0	30,5	2,5	1,83	7,5	20

TABELA 36:- ANÁLISES QUÍMICAS DE ÁGUAS DO RIO IVAÍ, COLETADAS EM 1974, 1975, 1976 e 1977 NO NOVO PORTO TAQUARA. (mg/l).

TRIMESTRES	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SiO ₂	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	pH	TOTAL DE SÓLIDOS	Na ⁺ /K ⁺	Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺
1º	2,74	1,68	7,09	1,08	16,75	32,69	2,36	1,12	6,8	65,71	1,69	6,56
2º	2,70	1,71	5,22	1,69	17,60	29,82	1,98	1,52	6,9	64,74	1,58	3,09
3º	1,80	1,46	5,32	1,81	17,21	27,88	1,76	1,92	6,9	59,88	1,23	2,94
4º	1,83	1,40	6,24	1,76	14,7	32,13	2,17	1,75	7,1	62,54	1,31	3,55
MÉDIA ANUAL	2,27	1,56	5,97	1,59	16,6	30,63	2,07	1,58	1,0	63,22	1,44	4,03

TABELA 37:- VALORES TRIMESTRAIS MÉDIOS E MÉDIAS ANUAIS RELATIVAS A DADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS DE ÁGUAS DO RIO IVAÍ, COLETADAS EM 1974, 1975, 1976 e 1977 NO NOVO PORTO TAQUARA.

FIGURA 38:- DIAGRAMA DE PIPER, REPRESENTANDO A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE AMOSTRAS DE ÁGUAS COLETADAS NO RIO IVAÍ NO NOVO PORTO TAQUARA (TABELA 36).

ESPECIE DISSOLVIDA	COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA	VAZÃO SÓLIDA DISSOLVIDA ESPECÍFICA	APORTE SÓLIDO DISSOLVIDO
	mg/l	ton/ano/Km ²	ton/ano
Na ⁺	2,27	1,49	50.302
K ⁺	1,56	1,02	34.435
Ca ⁺⁺	5,97	3,91	132.002
Mg ⁺⁺	1,59	1,04	35.110
tot. bases	11,39	7,47	252.187
SiO ₂	16,6	10,88	367.302
HCO ₃ ⁻	30,63	20,08	677.901
Cl ⁻	2,07	1,36	45.914
NO ₃ ⁻	1,58	1,04	35.110
TOTAL	62,27	40,83	1.378.421

TABELA 38 : ESTIMATIVAS DAS CONCENTRAÇÕES EM ESPÉCIES DISSOLVIDAS NO RIO IVAÍ NO NOVO PORTO TAQUARA, A PARTIR DE ANÁLISES DE AMOSTRAS COLETADAS NO LOCAL. A VAZÃO LÍQUIDA ESPECÍFICA MÉDIA DETERMINADA NO LOCAL TEM UM VALOR DE 20,79 l/s/Km² NO PERÍODO DE ESTUDO. FOI CONSIDERADA A ÁREA EFETIVA DE 33.760 Km².

ESPECIE DISSOLVIDA	COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA	VAZÃO SÓLIDA DISSOLVIDA ESPECÍFICA	APORTE SÓLIDO DISSOLVIDO
	mg/l	ton/ano/Km ²	ton/ano
Na ⁺	2,23	1,43	51.296
K ⁺	1,62	1,04	37.458
Ca ⁺	5,84	3,74	134.285
Mg ⁺	1,56	1,00	36.082
tot. bases	11,27	7,22	259.459
SiO ₂	16,72	10,71	384.806
HCO ₃ ⁻	30,08	19,27	692.001
Cl ⁻	2,08	1,33	47.669
NO ₃ ⁻	1,65	1,06	38.133
TOTAL	61,82	39,60	1.422.096

TABELA 39 : ESTIMATIVAS DE VAZÕES SÓLIDAS E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ESPÉCIES DISSOLVIDAS NA FOZ DO RIO IVAÍ. A DESCARGA LÍQUIDA ESPECÍFICA ESTIMADA E CONSIDERADA NOS CÁLCULOS É DE 20,31 l/s/Km². A VAZÃO SÓLIDA DISSOLVIDA ESPECÍFICA FOI CALCULADA PELA SOMA DO APORTE SÓLIDO DISSOLVIDO DO NOVO PORTO TAQUARA COM O DEVIDO À ÁREA RESTANTE DO CAIUÁ DIVIDIDO PELOS 35.914 Km² DA BACIA DO IVAÍ.

das descargas totais de cada compartimento, dividida pela área total da bacia hidrográfica. A vazão líquida dissolvida específica foi estimada pela soma do aporte sólido dissolvido no Novo Porto Taquara, com o relacionado à área restante no Caiuá, dividido pela área total da bacia.

5.3.1.3. Sólidos Totais Hidrotransportados

Comparando-se os dados de transporte de sólidos em suspensão com os de sólidos dissolvidos na bacia hidrográfica do rio Ivaí, tem-se uma visão global do total de sólidos hidrotransportados.

Considerando-se o transporte em suspensão para o Novo Porto Taquara como $77 \text{ ton/Km}^2/\text{ano}$ e o dissolvido como $41 \text{ ton/Km}^2/\text{ano}$ se obtém uma descarga sólida global de $118 \text{ ton/Km}^2/\text{ano}$ ou cerca de 4.10^6 ton/ano .

Acrescendo-se ao último valor o equivalente a área de arenito Caiuá à jusante do Novo Porto Taquara, tem-se as descargas específicas total de $4,2 \cdot 10^6 \text{ ton/ano}$.

5.3.1.4. Transporte de Sólidos do Rio Ivaí em relação aos Rios do Mundo.

Com base nas médias estimadas por Mackenzie e Garrels (1966) para os rios do Mundo e por Gibbs (1972) para a América do Sul, as porcentagens de contribuição do Ivaí em termos de espécies dissolvidas constam da TABELA 40.

5.3.2. Transporte de Sólidos em Termos Regionais

5.3.2.1. Sólidos em Suspensão

ESPÉCIE DISSOLVIDA	QUANTID.TOTAL RECEBIDA PELOS OCEANOS ton/ano	APORTE ANUAL DE SÓLIDOS DISSOLVIDOS ton/ano		FRAÇÃO CORRESPONDENTE AO RIO IVAÍ (%)	
		PELOS RIOS SULAMERI CANOS	PELO RIO IVAÍ	DO RECEBIDO PE LOS OCEANOS	DOS RIOS SULAMERICANOS
Na	$20,7 \cdot 10^7$	$5,05 \cdot 10^7$	51.296	0,02	0,11
K	$7,4 \cdot 10^7$	$1,55 \cdot 10^7$	37.458	0,05	0,24
Ca	$48,8 \cdot 10^7$	$6,59 \cdot 10^7$	134.285	0,03	0,20
Mg	$13,3 \cdot 10^7$	$1,24 \cdot 10^7$	36.082	0,03	0,29
SiO ₂	$42,6 \cdot 10^7$	$12,78 \cdot 10^7$	384.806	0,09	0,30
HCO ₃	$190,2 \cdot 10^7$	$24,93 \cdot 10^7$	692.001	0,04	0,28
Cl	$25,4 \cdot 10^7$	$5,56 \cdot 10^7$	47.669	0,02	0,09
NO ₃	-	-	38.133	-	-
SO ₄	$36,7 \cdot 10^7$	$4,43 \cdot 10^7$	-	-	-

TABELA 40:- APORTE DE SÓLIDOS DISSOLVIDOS DO RIO IVAÍ EM RELAÇÃO AO MONTANTE DOS RIOS DO CONTINENTE SULAMERICANO E DO MUNDO. (MACKENZIE E GARRELS (1966) — GIBBS (1972)).

Admitindo-se, dentro de uma hipótese otimista, que, para a Formação Caiuá valham os valores da TA BELA 29, teremos:

— perda diária de sólidos suspensos pela Formação Serra Geral em sua superfície de 105.800 Km^2 no Estado do Paraná = 13.300 ton/dia ou $1,26 \text{ ton/ha/dia}$ e 460 ton/ha/ano ;

— perda diária de sólidos suspensos pelos depósitos supra-basálticos em sua superfície de 22.800 Km^2 do Estado do Paraná = 6.200 ton/dia ou $2,72 \text{ ton/ha/dia}$ e 992 ton/ha/ano .

Estes valores podem não corresponder exatamente à realidade, porém dão uma idéia do que está se passando naquela região do Estado do Paraná em termos de transporte de sólidos.

No caso do Caiuá ou genericamente falando, das formações supra-basálticas, existe ainda uma sensível parcela não calculada neste trabalho, que é correspondente aos sólidos escoados pelos rios por arraste de fundo. Esta fração deve situar-se em torno de 30% do transporte total de sólidos em suspensão.

Uma região basáltica florestada em cerca de 80% de sua área, como a bacia do rio Itabó, no Paraguai, descarrega anualmente cerca de 60 ton/ha , ou seja: $0,16 \text{ ton/ha/dia}$.

Admitindo-se como aceitável uma perda de sólidos de 60 ton/ha/ano , deverão ser tomadas medidas que dividam as perdas médias atuais por 8 para a Formação Serra Geral e 16 para o Caiuá, aproximadamente.

Deve-se sempre ter em mente que estas estimativas foram feitas com dados levantados no Córrego Ja

cutinga, que transporta sólidos em suspensão com taxa a baixo da média regional, como foi visto no ítem 4.6.2.1. Considerando-se como média os valores de sólidos em sus pensão obtidos no rio Arroio Guaçú, tem-se uma perda de sólidos suspensos para a Formação Serra Geral de cerca de 1,61 ton/ha/dia.

Como os dados estimados aqui são médios, e existem na região estudada extensas áreas, relativamente planas, devem, por outro lado, ocorrer situações bastan te críticas em zonas de topografia mais acidentada.

5.3.2.2. Sólidos Dissolvidos

Estendendo-se os dados tomados como médios, obtidos na bacia hidrográfica do Rio Ivaí, para o total da Formação Serra Geral e dos depósitos supra-basálticos do Estado do Paraná, obtêm-se os valores da TABELA 41.

As estimativas das bases, sílica e bicarbo_nato podem não ser exatamente as reais, porém dão uma boa indicação da erosão química a que boa parte do território paranaense está submetida.

No caso da Formação Serra Geral, foram to madas como base as perdas específicas em espécies dis solvidas, anotadas em bacias sobre terrenos basálticos, cuja vegetação natural está praticamente intocada, para comparar com as informações levantadas em bacias sobre basaltos sem vegetação natural no Estado do Paraná. (TA_BE_LA 42).

Para os cálculos comparativos das perdas de sólidos dissolvidos pelo transporte em meio aquoso em bacias florestadas, lançou-se mão de dados obtidos pela ARH nos rios Itabó, Limoy e Itambey, no Paraguai. Nos três rios tem-se dados de composição química, enquanto

ESPÉCIES DISSOLVIDAS	TOTAL EXPORTADO DOS 105.800 Km ² DE FOR MAÇÃO SERRA GERAL ^T NO PARANÁ ton/ano	TOTAL EXPORTADO DOS 22.800 Km ² DE FOR MAÇÃO CAIUÁ NO PARÁ NÁ ton/ano
Na ⁺	150.000	11.000
K ⁺	90.000	33.000
Ca ⁺	440.000	25.000
Mg ⁺	180.000	11.000
tot. bases	860.000	80.000
SiO ₂	1.210.000	193.000
HCO ₃ ⁻	2.360.000	155.000
Cl ⁻	110.000	19.000
NO ₃ ⁻	180.000	33.000
TOTAL	4.720.000	481.000

TABELA 41 : PERDAS ANUAIS DE ESPÉCIES DISSOLVIDAS, SOFRI
DAS PELAS FORMAÇÕES SERRA GERAL E CAIUÁ NO ESTADO DO PARÁ
NÁ.

ESPÉCIES DISSOLVIDAS	COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA EM mg/l PARA OS RIOS					% DE VARIAÇÃO
	LIMOY	ITABÓ	ITAMBEY	MÉDIA	AR. GUAÇU	
Na ⁺	1,36	1,25	2,00	1,54	2,02	24
K ⁺	1,20	1,15	1,20	1,18	1,07	-10
Ca ⁺⁺	3,49	3,90	3,46	3,62	5,19	30
Mg ⁺⁺	1,08	1,27	0,95	1,10	1,60	31
tot.bases	7,13	7,57	7,61	7,44	9,88	25
SiO ₂	13,50	16,50	15,30	15,10	14,70	-03
HCO ₃ ⁻	19,52	22,57	20,94	21,01	27,25	23
Cl ⁻	1,00	0,0	1,50	0,83	0,92	10
NO ₃ ⁻	0,59	0,22	0,56	0,46	1,57	71
TOTAL	41,74	46,86	45,91	44,84	54,32	17

TABELA 42 : COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE BACIAS REPRESENTANDO ÁREAS COBERTAS POR VEGETAÇÃO NATURAL E TOTALMENTE DESPROVIDAS DE FLORESTAS. PERCENTUAIS DE VARIAÇÃO NA COMPOSIÇÃO DE CADA ESPÉCIE DISSOLVIDA ENTRE ESTES DOIS PADRÕES DE ÁREAS. A DESCARGA ESPECÍFICA MÉDIA PARA AS ÁREAS DE FLORESTAS É DE 8,94 l/s/Km² (RIO ITABÓ) E PARA A ÁREA DESFLORESTADA É DE 13,31 l/s/Km² (RIO ARROIO GUAÇU).

a descarga líquida específica média considerada foi obtida em 1977 no rio Itabó.

Com base nos dados foram feitas estimativas das variações da quantidade de desólidos dissolvidos devidas à ação antrópica sobre a superfície da região basáltica da margem esquerda do Rio Paraná (TABELA 43). Representando as áreas totalmente ocupadas ou devastadas, tomou-se os dados obtidos no rio Arroio Guaçu, que desemboca no Paraná, próximo à foz do rio Itambey.

A partir das tabelas comparativas anteriores se depreende que:

— a concentração de cada espécie dissolvida é maior para as áreas deflorestadas, exceto para o potássio e sílica;

— a descarga de material dissolvido é menor nas bacias hidrográficas protegidas por florestas para todas as espécies dissolvidas;

— é demonstrado claramente nas tabelas, o efeito da vegetação na diminuição do escoamento superficial e na retenção de espécies dissolvidas;

— a pequena variação no padrão topográfico das regiões comparadas não deve ter influído muito na movimentação das espécies dissolvidas, assim como o clima, que é praticamente o mesmo;

— a variação na erosão química é sensívelmente menor do que a mecânica, quando da ocupação de uma área natural;

— espécies dissolvidas que se relacionan a fontes poluidoras, como radical nitrato, tem as mai

ESPÉCIES DISSOLVIDAS	DESCARGAS ESPECÍFICAS DE MATERIAIS DISSOLVIDOS ton/ano/Km ²		ACRÉSCIMOS DE VIDOS À AÇÃO ANTRÓPICA %
	BACIAS FLORESTADAS SOBRE BASALTOS	BACIAS DESFLORESTADAS SOBRE BASALTOS	
Na ⁺	0,43	0,85	49
K ⁺	0,33	0,45	27
Ca ⁺⁺	1,02	2,18	53
Mg ⁺⁺	0,31	0,67	54
tot.bases	2,10	4,15	49
SiO ₂	4,26	6,17	31
HCO ₃ ⁻	5,92	11,44	48
Cl ⁻	0,23	0,39	41
NO ₃ ⁻	0,13	0,66	80
TOTAL	12,64	22,80	45

TABELA 43 : COMPARAÇÃO ENTRE AS DESCARGAS SÓLIDAS ESPECÍFICAS DE ESPÉCIES DISSOLVIDAS DE BACIAS FLORESTADAS E DESFLORESTADAS SOBRE BASALTOS.

ores taxas de aumento devido à ocupação de uma área.

5.4. Balanço Erosão — Alteração em Basaltos

Com base nos dados levantados sobre a alteração química e mecânica, obtidas a partir dos materiais hidrotransportados e com informações sobre a rocha, pode ser montado um balanço do tipo alteração e erosão, nos moldes daquele utilizado por Gac e Pinta (1973) em rochas do Império Centro Africano.

A decomposição química concorre para o aprofundamento dos perfis de alteração dos basaltos, provocando a solubilização de parte da rocha sã e a formação de minerais secundários, além dos residuais.

Opondo-se a esta alteração, que tende a liberar para transporte apenas materiais dissolvidos, age a erosão mecânica, provocando uma ablação dos perfis pelo transporte dos materiais residuais e/ou formados durante o intemperismo químico.

A ação relativa destes dois mecanismos pode ser estimada pelo método que será aqui utilizado.

Considerando-se o basalto da bacia do Córrego Jacutinga (TABELA 20), com densidade igual a 3, cada metro cúbico será formado por:

- 145 Kg de sílica livre
- 1390 Kg de sílica combinada
- 324 Kg de alumina
- 528 de óxido de ferro

A mineralogia dos sólidos em suspensão e dos materiais alterados é fundamentalmente caolinita. Em um sistema de alteração monossialítica, todos os 324 Kg de Al_2O_3 se combinam com 382 Kg de SiO_2 , que associados a 114 Kg de H_2O formam 820 Kg de caolinita.

Considerando-se uma dissolução do quartzo na ordem de 15% (Tardy, 1969), serão evacuados 1030 Kg de SiO_2 para cada m^3 de basalto alterado.

No Córrego Jacutinga, foi medido o total de SiO_2 escoado durante um ano, 19,3 ton/ Km^2 /ano. A este valor correspondem 15,4 g/ m^2 /ano de caolinita.

Como 1 m^3 de rocha produz 820 Kg de caolinita, este valor de caolinita formada corresponde a 1 m de rocha alterada, em profundidade.

A 15,4 g/ m^2 /ano de caolinita, corresponde um aprofundamento de perfil na ordem de $1,9 \cdot 10^{-5}$ m.

A vazão sólida em suspensão do Jacutinga' é de 46,3 g/ m^2 /ano. Considerando-se que todo este valor corresponde a caolinita, tem-se uma ablação do solo eliminando uma camada de cerca de $5,6 \cdot 10^{-5}$ m. Transformando-se este número em volume, observa-se que o Estado do Paraná perde anualmente cerca de 6.000.000 m^3 de solos de origem basáltica.

Contrapondo-se os valores de formação de solo, $1,9 \cdot 10^{-5}$ m, e os de perda de solo, $5,6 \cdot 10^{-5}$ m tem-se uma diminuição da camada alterada na ordem de 0,037 mm/ano.

Além das várias fontes potenciais de in

correções para as estimativas feitas com relação ao balanço erosão-alteração, convém mais uma vez salientar' que as taxas calculadas de aprofundamento e arrasamento dos perfís de alteração são médias. Assim sendo, e como existem áreas pouco acidentadas e sujeitas a erosão mecânica muito baixa, ocorrem locais sob gradientes topográficos mais acentuados, que são acometidos de taxas de erosão bastante superiores à média.

Caso a alteração houvesse prosseguido sob as taxas atuais aqui estimadas, em todo o Quaternário ter-se-ia para o último milhão de anos a formação de 19 m de rocha alterada, e desde o Terciário (70 m.a) , mais de 1.300 m de alteritos.

Existem diversos locais sobre a Formação ' Serra Geral, no Paraná, em que a camada alterada chega a 20 m. Para isto ocorrer, pode-se especular que o clima regional não teria se alterado fundamentalmente no Quaternário, ou ainda, que ocorrem ou teriam ocorrido taxas mais elevadas de alteração no decorrer deste Período.

Em Maringá por exemplo, existem pontos onde o manto de intemperismo chega a cerca de 20 m de profundidade. Como a Região está próxima às bordas atuais do Caiuá, as rochas basálticas teriam sido descobertas dos sedimentos em questão, antes do início do Quaternário, tempo no qual, mantidas taxas de alteração semelhantes às atuais na bacia do Ivaí, seria possível a formação destes 20 m de alteritos.

Utilizando-se dos dados obtidos no rio Ita**u**bó, no Paraquai, obtém-se uma alteração evoluindo $0,45 \cdot 10^{-5}$ m/ano, que, estendida para o Quaternário daria um manto de intemperismo de 4,5 m. Com esta taxa de alteração, para a formação de 20 m de alteritos, seriam

necessários cerca de 4.400.000 anos e desde o Terciário poderiam ter sido formados mais de 300 m. Estas estimativas talvez estejam mais próximas da realidade pois foram feitas a partir de dados de uma bacia hidrográfica quase toda florestada, condição pretérita de praticamente toda a região da Formação Serra Geral estudada.

6. CONCLUSÕES GERAIS

1. Trabalhos como o presente, em que são feitos balanços do movimento de materiais solúveis e insolúveis em determinadas regiões, podem fornecer subsídios bastante valiosos para planejamentos regionais de combate à erosão, proteção do solo e controle do meio ambiente de um modo geral.
2. Através de balanço erosão - alteração, é evidenciada a importância da erosão no modelado de uma região. Mantida a taxa atual de aprofundamento do manto de alteração desde o Terciário (70 m.a.), na porção aflorante paranaense da Formação Serra Geral, poderiam ter sido eliminados mais de $30 \cdot 10^{12}$ metros cúbicos de solo, sendo abatidos desníveis topográficos com mais de 300 metros. Isto evidencia o grande auxílio que a avaliação de taxas de erosão e alteração pode prestar a estudos de evolução do relevo.
3. Até o presente, a influência antrópica na região, foi no sentido de um rompimento desastroso do equilíbrio ecológico, sem a existência de ações efetivas que levem o sistema a um novo equilíbrio, do qual o homem possa usufruir ativamente. O desmatamento quase que total, elevou as taxas de erosão mecânica em mais 10 vezes para áreas basálticas e em muito mais no caso de áreas de arenitos, uma vez que práticas conservacionistas não são empregadas significativamente. Ainda devido ao desmatamento da região, houve um aumento de cerca de 40% no transporte de material dissolvido em zona de rochas básicas. Este material estaria retido nos componentes do manto de alteração disponíveis

anteriormente para serem empregados como nutrientes pela vegetação.

4. Na região, este fato é ainda mais agravado, visto que os rios principais não atingiram sua capacidade máxima de transporte de sólidos, de forma que maiores quantidades de material fornecido aos mesmos irão conduzir a um mais intenso transporte de sedimentos, que poderão provocar, mais a jusante, processos de assoreamento onde este fenômeno é indesejável.
5. É bem clara a influência da litologia na caracterização das águas relacionadas. Foi observada uma diferença marcante entre as águas em contacto com basaltos da Formação Serra Geral e as águas afins aos sedimentos supra-basálticos arenosos relacionados à Formação Caiuá. Mesmo entre águas de diferentes regiões do Caiuá, foram anotadas sensíveis variações nas suas características químicas, evidenciando diferenças principalmente na quantidade dos argilominerais presentes nos sedimentos arenosos.
6. Na Região estudada, através das composições químicas das águas de rios sobre basaltos, sobre arenitos e sobre sedimentos paleozóicos, consegue-se estimar as composições químicas de outros rios, cujas bacias se desenvolvem sobre mais de um dos compartimentos geológicos mencionados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, G.B, HESTON, W.M. e ILER, R.K. (1954) - The solubility of amorphous silica in water Jour - Phys. Chem, 28 : 453-455.
- ALMEIDA, F.F.M. (1946) - Basaltos do Planalto de Maracaju Tese apresentada no II Congr.Panamer. Eng. de Minas e Geol. Petrópolis - Brasil.
- AMARAL, G., CORDANI, U.G., KAWASHITA, K. e REYNOLDS, J.H. (1966) - Potassium-argon dates of basaltic rocks from southern Brasil. Geoch.Cosmoch. Acta. 30 : 159-189.
- ANDERSON, D.H. e HAWKES, H.E. (1958) - Relative mobility of the common elements in weathering of some schists and granite areas. Geoch.Cosmoch.Acta. 14(3) : 204-210.
- BAGNOULS, F. e GAUSSEN, H. (1953) - Saison seche et indice Xerothermique, Fac.Sci. Toulouse.
- BARTHELMESS, H. (196) - Comentário Geomorfológico sobre o vale do Ivaí, Bol.Paran.Geogr. ano I (1):8.17.
- BIGARELLA, J.J. (1975) - Structures developped by the dissipation of sand dunes. Bol.Paron.Geoc. 33 : 44-45.
- CHARLOT, G. (1969) - Les reactions chimiques en solution , 6^a ed., Paris, Masson et Cie.

- COOK, H. L. (1936) - The nature and controlling variables of the water erosion process. Soil Sci.Soc. Amer. Proc. 1 : 487-491.
- CORDANI, U.G. e VANDOROS, P. (1967) - Basaltic Rocks of the Paran Basin. Problems in Brazilian Gondwana' Geology, Curitiba, Brasil : 207-231.
- CORRENS, C.W. (1949) - Ein guhrung in die Minerologia.Springer Verlag, Berlin, in Mason (1960).
- CUSTDIO, E. (1976) - Hidrologia Subterrnea, Tomo I, Ed. Omega, Barcelona, Espanha.
- ERHART, H. (1956) - La Genese des sols en tant que phnomne geologique. Masson et C^{ie}, Ed. Paris.
- FAO/UNESCO (1971) - Carta dos Solos da Amrica do Sul, in Carta de Solos do Mundo. Paris.
- FETH, J.H., ROBERTSON, C.E. e POLZER, W.L. (1964) - Sources of mineral constituents in water from granitics rocks, Sierra Nevada, Califrnia and Nevada.U. S. Geol.Survey Water - Supply Paper, 1535 - I.
- FRITZ, B. (1975) - tude thermodynamique et simulation des raction entre mineraux et solutions.Aplication la gochimic des alteration et des eaux continentales; Thse Doct.Ing.Strasbourg et Mm. Sci. Gel. 41 : 152.
- GAC. J.Y. e PINTA, M. (1973) - Bilan de l'rosion et de l'alteration en climat tropical humide. Estimation de la vitesse d'approfondissement des pro

Etude du bassin versant de l'Ouham(Repu
blique Centrafricaine). Cah.ORSTOM, Ser.Géol.
V, (1) : 83-96.

GARRELS, R.M. e CHRIST, C.L. (1965) - Solution, minerals and
Equilibria. Harper J. Row Ed. New York.

GARRELS, R.M. (1967) - Genesis of some ground Waters from
igneous rocks. In Research in Geochemistry, ed.
P. Abelson, Wiley : 405-420.

GIBBS, R.J. (1972) - Water chemistry of the Amazon River.
Geoch. Cosmoch. Acta. 36 : 1061-1066.

GREENBURG, S.A. e PRICE, E.W. (1957) - The solubility of
silica in solution of electrolytes - Jour. Phys
Chem. 61 : 1539-1541.

GUIMARÃES, D. (1933) - A província magmática do Brasil Meri
dional, Serv. Mineral, Brasil, Rio de Janeiro,
B. 64 - 70.

GUTMANS, M. (1943) - Rochas-mater da Terra Roxa. I.A.C.S.P
Bragantia 3 : 271-322.

HEM, J.D. e CROPPER, W.H. (1959) - Survey ferrous-ferric
chemical equilibria and redox potentials. U.S
Géol. Survey Water Supply Paper : 1459-A; 31.

HEM, J.D. (1970) - Study and interpretation of the chemical

- characteristics of natural water - U.S. Geol. Survey Water - Supply Paper 1473, (and. Ed):363.
- HICKS, W.B. (1921) - Potash resources of Nebraska. U.S. Geol. Survey Bull. 715 : 125-139.
- HYPOLITO, R. (1972) - Estudo experimental de alteração in
tempêrica de diabásios. Tese de doutoramento,
Inst. Geoc. U.S.P. : 103.
- JOHNS, W.D. e HUNG, W.H. (1967) - Distribution of chlorine
in terrestrial rocks, Geoch. Cosmoch. Acta. 31
(1) : 35-49.
- KOLODIAJNAIA, A.A. (1964) - Influence of the chemical compo-
sition of atmospheric precipitation on sea-
littoral upon karst formation., Int. Geol. Con-
gress, Atenas, 1962. Greek Inst. Geology and
Subsurf. Res: 249-255.
- KRAUSKOPF, K. (1956) - Dissolution and precipitation of si-
lica at low temperatures. Geoch. Cosmoch. Acta.
10 : 1-26.
- KRAUSKOPF, K.B. (1967) - Introduction to geochemistry Mc.
Grow. Hill - Kogakusha, Tokyo, Japão.
- LANDIM, P.M.B. e FULFARO, V.J. (1971) - Nota sôbre a gênese
da Formação Caiuã, Anais do XXV Congr. do Soc.
Bras. Geol., São Paulo-SP.
- LAW, J.O. e PARSONS, D.A. (1943) - The relation of rain
drops size to intensity. Trans. Amer. Geophys.
Union, 24 : 452-459.

- LAW, J.O. (1941) - Measurements of fall velocity of water drops and rain drops. Trans.Amer. Geophys. Union 2 : 709-721.
- LEINTZ, V. (1949) - Contribuição à geologia dos derrames basálticos do Sul do Brasil. Fac.Fil.Ciêⁿ.Letr.U S.P., 103 - Geologia (5) - São Paulo.
- LELONG, F., TARDY, Y., GRANDIN, G., TRESCAZES, J.J., BOULANGE, B. (1976) - Pédogenesis, Chemical Weathering and processes of formation of some supergene ore deposits. Handbook of Strata-bound and stratiform ore deposits, ed. by K.H.Wolf, Elsevier Scient. Publ.Co, Amsterdam : 93-173.
- LENEUF, N. (1959) - L'alteration des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestière. Thèse Sci, Paris : 210.
- LEVI, F. e MELFI, A.J. (1972) - Geochemical and mineralogical studies on the first stages of weathering of basic and related rocks - Rev. Bras.de geociências 2(1) : 1-7.
- LIVINGSTONE, D.A. (1963) - Chemical composition of rivers and lakes in Data of Geochemistry (6 th ed.) - U. S. Geol.Survey Prof.Paper 440 - G: 1-64.
- MAACK, R. (1968) - Geografia Física do Estado do Paraná, Banco de Desenvolvimento do Paraná. Univ.Fed. do Paraná - IBPT, Curitiba, Paraná.
- MATVEYEU, A.A. e BASHMAKOVA, O.I. (1967) - Chemical composition of atmospheric precipitation in some regions of the U.R.S.S. Soviet Hydrology Selected

papers 5 : 480-491.

MELFI, A. J. (1967) - Intemperismo de granito e diabásio no município de Campinas e arredores, Estado de São Paulo. Tese de doutoramento Fac.Fil.Ciênc. Letr., U.S.P., Brasil.

MELFI, A. J. (1968) - Contribution l'étude des "Terras Roxas legítimas" du Brésil - Bull. Assoc.Franc.' pour l'étude du sol 6 : 31-39.

MELFI e LEVI (1971) - Geochemical and mineralogical studies' on the first stages of weathering of basic and related rocks. Part. 2. Rev.Bras.de Geoc.:1(1).

MEYER, L.D. e WISCHMEYER, W.H. (1969) - Mathematical simulation of the processes of soil erosion by water. Trans Osae, 12 : 754-762.

MEYER, L.D. e WISCHMEYER, W.H. (1970) - Mulch rates required for erosion control on steep slops soil Sci. ' Soc.Amer.Proc., 34 : 928-931.

MILLER, J.P. (1961) - Solutes in small streams draining single rock types, Sangre de Cristo Range. New México. U.S.Geol.Suv. Water - Supply Paper 1535-F:23.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1970) - Levantamento de reconhecimento dos solos do Noroeste do Estado do Paraná(informe preliminar), Bol.Técn.14, Rio de Janeiro.

- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1975) - Levantamento de reconhecimento dos solos do Oeste do Estado do Paraná, Bol. Técn. , Rio de Janeiro.
- MILLOT, G. e BONIFAS, M. (1955) - Transformations isovolumétriques dans les phénomènes de laterization et de bauxitization. Bull.Serv.Carte Géol.Als-Lor 8 : 3-10.
- MONDARDO, A. et alii (1977) - Controle da erosão no Estado do Paraná, Circ. nº 3, I.A.C., Londrina, Paraná.
- NIMER, E. (1971) - Climatologia da Região Sul do Brasil: Introdução à Climatologia Dinâmica. Rev.Bras. Geogr. 33 (4) : 3-65.
- OKAMOTO, G., OKURA, T., GOTO, K. (1957) - Properties of silica in water. Geoch.Cosmoch. Acta. 12:123-132.
- PÉDRO, G. (1966) - Essai sur la caractérisation géochimique des différents processus zonaux résultant de l'altération des roches superficielles. C.R. Acad.Sci. Paris, 262-D: 1828-1831.
- PEREL'MAN, A. I. (1967) - Geochemistry of Epigenesis. Plenum Press, New York : 266.
- POLYNOV, B.B. (1937) - Cycle of Weathering, Murby Publish Co. London : 220.
- RANKAMA, K. e SAHAMA, T.G. (1962) - Geoquímica (5a ed.), Espanha, Aquillar SA.: 302.
- REISMANN, J.I. e OVARD, J.C. (1974) - Efecto de las torres de

refrigeración sobre el medio ambiente. Ing. Química, Madrid . 61: 131-138.

ROBIE, R.A. e WALDBAUM, D.R. (1968) - Thermodynamic properties of minerals and related substances at 298, 15° K and one atmosphere pressure and at higher temperatures. U.S. Geol. Survey Bull 1259: 256.

RUEGG, N.R. (1969) - Aspectos geoquímicos, mineralógicos e petrográficos de rochas basálticas da bacia do Paraná. Tese de Doutorado apresentada ao I. G.U.S.P.: 309.

RUEGG, N.R. (1975) - Modelos de variação química na província basáltica do Brasil Meridional. Tese de Docência, I.G. U.S.P.: 308.

SCHNEIDER, A.W. (1964) - Contribuição à petrologia dos derrames basálticos da Bacia do Paraná. Esc. Eng. U. F.R.G. Porto Alegre. Public. avulsa 1.

SCHNEIDER, A.W. (1970) - Vulcanismo basáltico na Bacia do Paraná. Perfil Foz do Iguaçu - Serra Esperança. A nãis do XXIV Congr. da Soc. Bras. de Geol., Brasília, Distrito Federal.

SCHOELLER, H. (1956) - Géochimie des eaux souterraines. Application aux eaux des gisements de pétrole, ed. Tech, Paris.

SCHOELLER, H. (1962) - Les eaux souterraines, Ed. Masson, Paris.

SCHOELLER, H. (1963) - Recherches sur l'acquisition de la composition chimique des eaux souterraines. Imp. E. Drouillard, Bordeaux.

- SIEFFERMANN, G. (1969) - Les sols de quelques regions volcaniques du Cameroun. Variations pédologiques et mineralogiques du milieu équatorial au milieu tropical. Thèse Doc.Fac.Sci.Strasb: 290.
- SILLÉM, L.G. e MARTELL, A.E. (1964) - Stability Constants of Metal - Ion Complexes. Chemical Soc.London, Spec. Pub. 17 : 754.
- SMITH, C.H. Jr. (1915) - The relative solubilities of the chemical constituents of rocks. Jour. Geology, 21 (2): 105-120.
- SWENSON, H.A. e COLBY, B.R. (1955) - Chemical quality of surface waters in Devils Lake basin, North Dakota, U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1295: 82.
- SZIKZAY, M. (1972) - Aspectos geoquímicos de rios da bacia do Paraná, Tese de Doutorado I.G.; U.S.P.: 126.
- TARDY, Y. (1969) - Géochimie des alterations. Étude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. Thèse Sci.Strasbourg et Mém Serv., Carte Géol Als.Lor. 31; 199.
- TRESCAZES, J.J. (1969) - Géochimie des alterations et des eaux de surface dans le massif ultrabasique du sud de la Nouvelle - Calédon, Bull.Serv.Carte.Géol. Als Lor, 22(4): 329-354.
- UDOV, P.A, e PARILOV, Y.S. (1961) - Certain regularities of metals in natural waters. Geoch.Int. 8: 763-776.
- WALTHER, H. e LIETH, H. (1960) - Klimadiagramma - Weltatlas. verb. Gustav. Fischer, Verlag, Jena.

WALTHER, K. (1927) - Contribuicion al conocimiento de las rocas "basálticas" de la formacion de Gondwana , em la America del Sud. Inst.Geol.Petr.Uruguai, 9: 41.

WEY, R. e SIFFERT, B. (1962) - Reactions de la silice monomoleculaire em solution avec les ions Al^{3+} et Mg^{2+} . Genèse et synthèse des argiles. Coll. Intern. CN.R.S. 105: 11-23..

WISCHMEYER, W.H. (1973) - Upslope Erosion analysis. Environmental impact on Rivers(River Mechanics III)ed. publ. por Shen, Fort Collim, Colorado, U.S.A.: 15-1 a 15-26.