UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO DOS RISCOS REPRESENTADOS
POR ARMAZENAMENTO E MANUSEIO DE
COMBUSTÍVEIS SOBRE AS LINHAS DO
METRÔ EM SÃO PAULO - SP**

Celso Kolesnikovas

Orientador: Prof. Dr. José Milton Benetti Mendes

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
1997

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO DOS RISCOS
REPRESENTADOS POR ARMAZENAMENTO E
MANUSEIO DE COMBUSTÍVEIS SOBRE AS LINHAS
DO METRÔ EM SÃO PAULO - SP**

CELSO KOLESNIKOVAS

Orientador: Prof. Dr. José Milton Benetti Mendes

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: Prof. Dr. José Milton Benetti Mendes

Examinadores: Prof. Dr. Fabio Taioli

Prof. Dr. Lindolfo Soares

_____
_____
_____

SÃO PAULO
1997

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005087

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

***CARACTERIZAÇÃO DOS RISCOS REPRESENTADOS POR
ARMAZENAMENTO E MANUSEIO DE COMBUSTÍVEIS SOBRE AS
LINHAS DO METRÔ EM SÃO PAULO, SP.***

Celso Kolesnikovas

Orientador: Prof. Dr. José Milton Benetti Mendes

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação: Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO

1997

ÍNDICE

ÍNDICE	i
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABELAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
AGRADECIMENTOS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. METODOLOGIA	5
2.1 Visita	5
2.2 Geologia, Geotecnia e Hidrogeologia	6
2.3 Interferências	11
2.4 Métodos Construtivos	11
2.5 Ponderação Adotada	12
3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	15
3.1 Visita	15
3.1.1 Dados Operacionais	15
3.1.2 Relatórios Individuais Modulares - RIM's	17

3.2 Geologia, Geotecnia e Hidrogeologia	18
3.2.1 Situação Topográfica e Geográfica da Cidade de São Paulo	18
3.2.2 Geologia da Área Metropolitana	20
3.3 Geotecnia e Hidrogeologia	24
3.4 Métodos Construtivos do Metrô	29
3.5 Interferências	37
4. MATRIZ FINAL DE RISCO	38
5. ROTINAS DE PROCEDIMENTO	42
5.1 Medidas de Produto em Poços de Observação (Piezômetros)	43
5.1.1 Objetivo	43
5.1.2 Introdução	43
5.1.3 Metodologia	44
5.1.4 Frequência das Atividades	46
5.2 Vistorias Regulares ao Longo das Linhas, em Locais Considerados como de Risco.	46
5.2.1 Objetivo	46
5.2.2 Introdução	47
5.2.3 Metodologia	47
5.2.4 Frequência das Atividades	47
5.3 Aplicação de Mantas Geotêxteis Absorventes	48

5.3.1 Objetivo	48
5.3.2 Introdução	48
5.3.3 Metodologia	48
5.4 Vistorias dos Postos de Abastecimento	50
5.4.1 Objetivo	50
5.4.2 Introdução	50
5.4.3 Metodologia	50
5.4.4 Frequência das Atividades	50
6. Legislação Existente	51
7. Apresentação de Resultados Localizados	52
7.1 Relatório Individual Modular LO-022	53
7.1.1 Objeto	53
7.1.2 Objetivo	53
7.1.3 Metodologia	53
7.1.4 Resultados Obtidos e Avaliação Individual	54
7.1.4.1 Dados Operacionais	54
7.1.4.2 Geologia, Geotecnia e Hidrogeologia	54
7.1.4.3 Interferências	56
7.1.4.4 Aspectos Construtivos	56
7.1.5 Conclusões	56

7.1.6 Recomendações	57
7.1.7 Referências	57
7.2 Relatório Individual Modular NS-034	61
7.2.1 Objeto	61
7.2.2 Objetivo	61
7.2.3 Metodologia	61
7.2.4 Resultados Obtidos e Avaliação Individual	62
7.2.4.1 Dados Operacionais	62
7.2.4.2 Geologia, Geotecnia e Hidrogeologia	62
7.2.4.3 Interferências	64
7.2.4.4 Aspectos Construtivos	64
7.2.5 Conclusões	64
7.2.6 Recomendações	65
7.2.7 Referências	65
7.3 Relatório Individual Modular MO-010	69
7.3.1 Objeto	69
7.3.2 Objetivo	69
7.3.3 Metodologia	69
7.3.4 Resultados Obtidos e Avaliação Individual	70
7.3.4.1 Dados Operacionais	70

7.3.4.2 Geologia, Geotecnia e Hidrogeologia	70
7.3.4.3 Interferências	72
7.3.4.4 Aspectos Construtivos	72
7.3.5 Conclusões.....	73
7.3.6 . Recomendações	74
7.3.7 Referências	75
8. Conclusões e Recomendações.....	79
9. Referências Bibliográficas	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Situação Topográfica da Bacia de São Paulo	19
Figura 2 - Planta Geológica da Região Metropolitana	22
Figura 3 - Seções Geológicas da Região Metropolitana	23
Figura 4 - Condutividades Médias de Diferentes Camadas	25
Figura 5 - Sequência Construtiva Básica do Método Vala a Céu Aberto 31	
Figura 6 - Sequência Construtiva Básica do Método "Shield"	33
Figura 7 - Aspectos Construtivos Básicos do Método NATM	36
Figura 8 - Vareta Permeável acoplada à Medidor Elétrico de Nível D'Água	44
Figura 9 - Metodologia para Verificação de Presença de Combustível através de Pasta D'água	45
Figura 10 - Planta de Localização - Local LO 022 - sem escala	58
Figura 11 - Seção Transversal - Local LO 022	59
Figura 12 - Seção Longitudinal - Local LO 022	60
Figura 13 - Planta de Localização - Local NS 034 - sem escala	66
Figura 14 - Seção Transversal - Local NS 034	67
Figura 15 - Seção Longitudinal - Local NS 034	68
Figura 16 - Planta de Localização - Local MO-010 - sem escala	76
Figura 17 - Seção Transversal - Local MO-010	77
Figura 18 - Seção Longitudinal - Local MO-010	78

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Correlação entre IRP e estado de solos arenosos e argilosos	7
Tabela 2 - Permeabilidade Intrínseca e Condutividade Hidráulica de diversos meios porosos (sedimentos inconsolidados), segundo Fetter, 1988.	10
Tabela 3 - Ponderação individual de cada aspecto considerado	12
Tabela 4 - Correlação entre Características Geológicas, Geotécnicas e Hidrogeológicas da Formação São Paulo, no Âmbito da Área Estudada	28
Tabela 5 - Métodos Construtivos do Metrô nos locais Cadastrados	35
Tabela 6 - Interferências - Posição Relativa ao Nível d'água e Topo do Túnel	37
Tabela 7 - Matriz final de Risco - Linha N-S	38
Tabela 8 - Matriz Final de Risco - Linha Madalena-Oratório	40
Tabela 9 - Matriz Final de Risco - Linha Leste - Oeste	41
Tabela 10 - Características Técnicas de Mantas Geotêxteis	49
Tabela 11 - Situação Estatística de Risco para o Metrô	79

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 - NOMENCLATURA UTILIZADA PARA CADASTRAMENTO DOS POSTOS	89
ANEXO 2 - SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS	90

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada - DGE, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

Ao Prof. Dr. José Milton Benetti Mendes pela simplicidade e clareza na orientação.

Ao Prof. Dr. Uriel Duarte pela amizade e contínuo apoio durante o trabalho.

Aos colegas e hidrogeólogos Everton de Oliveira, pela semente, estímulo e por que não, cumplicidade; Rodrigo Octávio Coelho, pela expressiva contribuição ao trabalho; Flávio Augusto Ferlini Salles e Vinicius Ishimine, pelo auxílio na edição final.

Ao Geólogo Hugo Cássio Rocha, e ao Engenheiro Carlos Alberto da Silva, pela cessão dos dados técnicos das linhas e permissão de utilização nesta tese.

Aos meus pais, Cyrilo e Maria, que possibilitaram e direcionaram meus estudos.

Aos meus irmãos, Cyrilo e Ricardo, pela admiração, exemplo e amizade.

A Cris, Rafael e Leonardo, por tudo e um pouco mais.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o risco potencial decorrente do armazenamento e manuseio de combustíveis sobre as linhas do Metrô, em São Paulo.

O município de São Paulo possuía, ao final da década de 80, mais de 1600 postos revendedores, perfazendo uma capacidade de armazenamento que excedia os 360 milhões de litros (Oliveira, 1992).

O Metrô de São Paulo se configura como um alvo de preocupação de ordem de segurança e ambiental, uma vez que atualmente conta com cerca de 43 km de linhas, sendo que, considerando-se um entorno de 200 metros ao longo destas, foram cadastrados 75 postos revendedores de combustível. O vazamento de um tanque de armazenamento pode atingir a parede dos túneis, e caso haja dissolução da camada impermeabilizadora, migrar para o interior dos mesmos, configurando riscos de incêndio e explosão, e à própria saúde humana, uma vez que alguns dos compostos da gasolina são reconhecidamente carcinogênicos.

O estudo ilustra a potencialidade dos riscos representados pelo armazenamento de combustíveis, através da análise dos diversos aspectos envolvidos na eventualidade de um vazamento, sejam eles, operacionais dos locais de armazenamento, geológicos e hidrogeológicos do maciço, construtivos do Metrô, e relativos às interferências existentes. Ainda, são propostas medidas de monitoramento preventivo e de mitigação dos impactos decorrentes de eventuais vazamentos.

Este estudo foi direcionado a ser:

baseado em risco

prático, quanto à metodologia

consistente, quanto à coordenação geral e sistemática para caracterização dos locais e medidas a serem tomadas.

ABSTRACT

This thesis presents the potential risk due to gasoline storage and management over the São Paulo Subway.

The Municipality of São Paulo had over than 1,600 services stations, representing a storage capacity that exceeds 360 million liters, by the end of the eighties (Oliveira, 1992). The São Paulo subway becomes a target of environmental and safety preoccupation, once has approximately 43 km, and, considering an area of 200 meters of each side along the lines, 75 service stations were investigated. Leakage of gasoline can reach the tunnel wall, and in case of seal dissolution, become a potential risk of safety and also human health, as is known that some gasoline compounds are carcinogenic.

The purpose of this study is to illustrate the risk potentiality due to gasoline storage, analyzing the several aspects involved in leakage, as management of gas stations, subway constructive aspects, geologic and hidrogeologics characteristics of the aquifer and also the existing interferences. Also, prevention monitoring and impact decrease measures are proposed.

This study was directed to be:

risk-based

practical in terms of methodology

consistent with overall coordinated and systematic approach to site characterization and establishment of consequent measures.

1. INTRODUÇÃO

As companhias distribuidoras de combustíveis líquidos têm papel fundamental no desenvolvimento econômico e social do país. O crescimento do número de postos revendedores de combustíveis foi um espelho da velocidade imprimida ao nosso desenvolvimento por estas companhias.

Em função disto, os locais de armazenamento passaram a ser alvo de preocupações de ordem de segurança e ambiental a partir do momento em que os vazamentos de combustíveis começaram a acontecer, em decorrência principalmente da idade útil dos equipamentos.

Este risco é potencializado em grandes cidades como São Paulo, que apresentam alto grau de urbanização. Nestes locais o combustível, a partir do momento de um vazamento, poderá percorrer caminhos preferenciais como tubulações de esgoto, galerias da rede elétrica ou de telefonia, fundações, subsolos de edifícios, garagens subterrâneas e particularmente o Metrô.

Atualmente, o Metrô de São Paulo conta com três linhas (Norte-Sul, Leste-Oeste e Madalena-Oratório), abrangendo 43 km e 44 estações. Num entorno de 200 metros de cada lado das linhas, perfazendo uma área de influência de 400 metros, encontravam-se, até a época dos estudos de campo, no primeiro semestre de 1995, 75 postos revendedores, armazenadores de combustíveis em tanques de abastecimento subterrâneo.

Na eventualidade de vazamento desses tanques de armazenamento subterrâneos (TAS), há a possibilidade do combustível atingir a parede do túnel e, após dissolver a camada impermeabilizadora, geralmente tendo como base o betume, infiltrar-se para o interior do mesmo, comprometendo o funcionamento da rede elétrica, colocando em risco a vida dos usuários. Além disso, a inalação de vapores oriundos da volatilização de alguns dos compostos presentes na gasolina, reconhecidamente carcinogênicos, também se caracteriza como um risco potencial à saúde humana.

Como grande parte do produto decorrente de um vazamento fica retida no solo, tanto na zona saturada como não saturada, sendo liberada lenta e gradualmente, a infiltração do produto para o interior do túnel pode continuar durante anos caso não haja remoção adequada do local ou interrupção da infiltração para o túnel.

A presente Dissertação de Mestrado propõe a caracterização dos riscos representados por armazenamento e manuseio de combustíveis sobre as linhas do Metrô.

Os estudos foram baseados em análise de risco, com critérios conservadores, partindo-se da premissa que qualquer vazamento configura um risco para o Metrô.

O conceito fundamental de avaliação de risco está baseado em três componentes essenciais: contaminantes perigosos ou fonte, vetores de exposição e receptores.

Contaminante perigoso é definido como um composto químico cujas propriedades nocivas e/ou concentrações tornam um local impróprio para o seu uso, determinado de acordo com padrões de saúde humana ou ecológica.

Vetores de exposição referem-se à forma de transporte do contaminante a partir do meio contaminado até o receptor.

Finalmente, um receptor é um indivíduo ou grupo de indivíduos que ficam expostos à contaminação, ou ainda um local que potencialize essa exposição, como é o caso do presente estudo. Todos estes componentes devem estar presentes para que haja a presença do risco.

A ausência de um ou mais destes componentes elimina o risco.

A metodologia da avaliação é baseada basicamente em duas fases, a saber:

- *Formulação do Problema é a primeira fase da avaliação de risco e envolve a definição dos três principais componentes do risco à saúde humana: compostos químicos ou fonte, vetores (rotas) de exposição e receptores.*

A definição é baseada em considerações preliminares do local, incluindo os cenários de atividades e uso do local. O objetivo da formulação do problema é criar um modelo conceitual. O desenvolvimento de um modelo conceitual do local ajuda na determinação de quanto material adicional deve ser adquirido para a finalização da avaliação de risco e na determinação de quais componentes (compostos químicos, vetores e receptores) são significativos e mais relevantes ao local em questão.

O objetivo desta fase é limitar a avaliação de risco quantitativa somente à aqueles contaminantes, vetores e receptores que apresentem o maior potencial para contribuir para um risco mensurável.

- *Caracterização do Risco é a quantificação dos riscos aos receptores potenciais.*

É realizada para todos os compostos químicos de interesse e rotas de exposição identificados na formulação do problema como apresentando os maiores potenciais para contribuir em riscos mensuráveis para receptores sensíveis.

No presente caso, a fonte é o local de armazenamento, ou seja, os postos de serviço cadastrados.

O composto químico de interesse é o produto (derivados de petróleo) armazenado.

Os vetores são os caminhos, ou rotas, que possibilitam a migração de produto até o túnel. Essas rotas são; o próprio aquífero, em suas zonas não saturada e saturada e as eventuais interferências artificiais existentes, como galerias, tubulações etc., e as características da obra em si, como dutos de ventilação, estaqueamentos etc.

As simulações de vazamento foram elaboradas a partir das seções geológico-geotécnicas cedidas pela Companhia do Metropolitano de São Paulo, que são bastante completas e apresentam os dados necessários para o desenvolvimento do estudo.

A dissertação discutirá uma avaliação dos locais indicados, baseada em conceitos geológicos, hidrogeológicos, interferências sub-superficiais e métodos construtivos das linhas do Metrô, resultando em um cruzamento de todas essas informações, que através da atribuição de valores e e diferentes ponderações para cada aspecto estudado, configura uma matriz de risco, e a proposição de conseqüentes medidas de prevenção e mitigação dos eventuais impactos a serem causados.

Ressalta-se o fato de que este estudo configurou uma matriz de risco tendo como alvo o Metrô de São Paulo. Portanto, um local que foi caracterizado como risco zero (sem risco) para o Metrô, pode ter um risco altíssimo em relação a outro receptor.

2. METODOLOGIA

A formulação do problema, como já citado, contempla todos os componentes pertinentes ao escopo do estudo, e envolveu quatro etapas de análise. Visita; levantamento de dados geológicos e hidrogeológicos; levantamento de interferências subsuperficiais e levantamento dos métodos construtivos do Metrô para cada local cadastrado.

A partir da análise individual de cada etapa, e também em conjunto com as demais, foi definido um modelo que pressupôs a ponderação de valores atribuídos para cada aspecto, o que possibilitou atribuir um risco final a cada local estudado, ilustrado o risco em valores numéricos. Essa atribuição de valores será abordada no item 2.5, após a apresentação da metodologia das etapas ora citadas.

Foi gerado um relatório individual para cada local estudado, chamado de RIM - Relatório Individual Modular, que exhibe a compilação de todas as informações, sua análise e conseqüente risco final.

2.1 Visita

Nesta etapa, todos os postos pertencentes ao escopo do trabalho foram vistoriados. Foi definida uma área de influência de 200 metros de cada lado do eixo das linhas do Metrô, perfazendo uma área de influência de 400 metros. Essa área foi considerada em função da existência de interferências sub-superficiais, como galerias, dutos, adutoras entre outras, que podem configurar uma rota de migração do contaminante para os locais sobrepostos às linhas, mesmo que o vazamento se deu à uma distância considerável.

O Anexo 1 exhibe a nomenclatura utilizada para cadastramento dos Postos. Foi utilizada a sigla NS para os postos da linha Norte-Sul, MO, para a linha Madalena-Oratório e LO para a linha Leste-Oeste.

Os dados levantados foram obtidos de acordo com entrevista detalhada com o proprietário ou responsável pelo estabelecimento, além de inspeções visuais, abrangendo;

Razão social; distribuidora; endereço do Posto; registro no DNC (Departamento Nacional de Combustíveis); estação do Metrô mais próxima; tempo de operação do Posto; tipos de combustíveis estocados; número de tanques e linhas; tancagem (cada combustível e total); tipo de aferição de volume armazenado; tipo de descarga de produto (normal ou selada); troca e destino de óleo lubrificante; lavagem de veículos; realização de testes de estanqueidade; manutenção de linhas e tanques; dispositivos de proteção das linhas e tanques; condições gerais do pavimento do posto; notificação de algum indício de vazamento nas proximidades; estimativa de perda de produto pelo caixa; derrames acidentais e/ou vazamentos; dados diretos de informações sobre algum vazamento pretérito.

O Anexo 2 exibe um modelo da ficha elaborada para sistematização das informações obtidas durante a etapa referente às visitas de campo.

2.2 Geologia, Geotecnia e Hidrogeologia

Os aspectos analisados basicamente referem-se à formações geológicas sedimentares, uma vez que o estudo se deu na zona urbana de São Paulo, caracterizada quase que totalmente por sedimentos terciários da Formação São Paulo, como será apresentado no item 3.2.2 (Geologia da Área Metropolitana).

A Formação São Paulo é composta basicamente por sedimentos argilosos, intercalados por lentes arenosas, com compactidade variando de fofa a compacta para as areias e consistência variando de mole a rija, para as argilas.

Os termos geotécnicos de interesse estão relacionados ao índice de resistência a penetração do maciço, que é função direta da capacidade de suporte deste.

Foi assumido que este índice é condicionante dos valores de condutividade hidráulica e porosidade efetiva para fluxo, conforme será abordado posteriormente, quando será feita uma correlação entre características geológicas, geotécnicas e hidrogeológicas, para cada pacote litológico, no âmbito da área estudada. Assim, foram abordados os itens compactidade e consistência de solos. Compactidade é a propriedade que um solo arenoso possui de oferecer uma maior ou menor resistência à sua penetração. Consistência é a mesma propriedade, porém relativa à um solo argiloso. De acordo com o IRP (índice de resistência à penetração), que é o número de golpes necessários para a cravação dos últimos trinta centímetros do amostrador SPT (standard penetration test), os valores de correlação com o estados da areia e argila estão descritos na Tabela 1, abaixo.

Tabela 1 - Correlação entre IRP e estado de solos arenosos e argilosos

MATERIAL	A R G I L A						A R E I A				
	consistência						compactidade				
IRP	0-2	2-4	4-8	8-15	15-30	>30	0-4	4-10	10-30	30-50	>50
PRESSÃO ADMISSÍVEL (Kg/cm ²)	0,0 a 0,45	0,45 a 0,90	0,90 a 1,80	1,80 a 3,60	3,60 a 7,20	>7,20	-	até 0,80	0,80 a 3,00	3,00 a 5,00	> 5,00
ESTADO	muito mole	mole	média	rija	muito rija	dura	muito fofa	fofa	média	com- pacta	muito compacta

Os aspectos hidrogeológicos de interesse estão relacionados aos tipos de aquíferos presentes na área estudada, gradientes e parâmetros físicos, visando os cálculos de velocidade real e sentido de fluxo, em uma simulação de situação de vazamento. Com relação aos tipos de aquíferos, estes podem ser classificados em freáticos (ou livres), confinados e semi-confinados.

Os aquíferos freáticos ou livres são aqueles onde a superfície da água armazenada encontra-se submetida à pressão atmosférica, pelo contato direto com o ar atmosférico através dos poros interconectados do material geológico imediatamente superior. A profundidade da superfície freática pode ser inferior à 10 metros em regiões úmidas, até mais de 100 metros em clima seco (Cleary, 1989).

Os aquíferos confinados são aqueles onde a água encontra-se a uma pressão diferente da atmosférica, estando separada do contato com o ar atmosférico através de uma camada superior impermeável (aquicluda ou aquífuga), chamada de camada confinante.

Os aquíferos semi-confinados são aqueles onde a água está sob pressão diferente da atmosférica, como num aquífero confinado, mas a camada confinante é um aquítarde, isto é, permite a recarga ou descarga de ou para aquíferos superiores ou inferiores e é chamada de camada semi-confinante.

Este último caso é típico do local estudado. A formação São Paulo apresenta como característica hidrogeológica marcante, a interdigitação e presença isolada de lentes arenosas, que recebem recarga através das camadas superiores e localmente, inferiores.

Com relação à porosidade, neste trabalho a vazão específica (SY) será chamada de porosidade efetiva para fluxo (nef), devido à imprecisão da tradução do termo *specific yield*, por representar a quantidade de água que uma dada litologia fornecerá. No entanto, em solos que não ocorre a presença de água imóvel, como por exemplo, areias e cascalhos, os dois parâmetros se igualam.

Esse parâmetro foi definido, para cada pacote litológico, visando o cálculo de velocidade real da água e eventualmente do contaminante, em uma simulação de vazamento e ainda, em um caso real, para o cálculo da quantidade necessária de produto para saturação do maciço sobreposto aos túneis.

Em referência aos diferentes potenciais de pressão, o modelo conceitual aborda a consequência gerada pela existência de alguma interferência, como por exemplo dutos de ventilação ou quaisquer outras interferências que atravessem a zona não saturada, colocando o aquífero em contato com a pressão atmosférica, eliminando a tensão superficial existente entre o líquido (água ou produto), eliminando a "vaporização" que possa ocorrer na franja capilar, fazendo com que a água e/ou produto migrem para a superfície da zona saturada.

Ainda, quaisquer destas interferências aumentam a velocidade de percolação do produto através da zona não saturada, uma vez que serão criados canais de altíssima permeabilidade, no contato entre as interferências e o maciço.

A Formação São Paulo compreende diversos aquíferos, determinados pelas sequências arenosas, com diversos potenciais de pressão. Os potenciais de pressão das camadas arenosas inferiores eventualmente são limitantes na análise do risco final, uma vez que a diferença de potencial entre as camadas pode impedir que a água e produto “desçam” fisicamente, anulando o risco caso a posição do túnel encontre-se nestas camadas. Esta avaliação é fundamental na simulação dos vazamentos, uma vez que mesmo que um vazamento atinja um aquífero acima dos túneis, eventualmente ele não atingirá a parede destes, pois pode haver um aquífero, situado fisicamente abaixo deste, com um potencial de pressão muito alto, que compense o potencial de elevação do aquífero superior, fazendo com que o potencial total seja maior do que do aquífero superior. Isso, somado ao fato de que a gasolina e diesel são menos densos e portanto sobrenadantes na superfície potenciométrica, mesmo em caso de um vazamento que migre até o freático, o contaminante não atingirá outras posições do maciço.

Ainda, foi estabelecido que o meio estudado é homogêneo e isotrópico, uma vez que qualquer derivação do fluxo, que não seja perpendicular à linha equipotencial seria de difícil análise. As simulações de casos de vazamento elaboradas neste estudo contemplam os sentidos de fluxo verticais (saturação do maciço na zona não saturada) e horizontais (lentes arenosas), necessários para caracterizar um risco potencial para o Metrô. Logo os gradientes foram definidos como 1 (ou 100%) para a zona não saturada e de acordo com as diferenças de potenciais medidos nos piezômetros e valores de níveis d'água não estabilizados medidos quando da execução das sondagens para a zona saturada.

Os sentidos de fluxo foram determinados a partir das medidas potenciométricas definidas pelos piezômetros existentes na área estudada, obtidos nas seções geológico-geotécnicas do acervo técnico do Metrô.

A instalação de poços e/ou piezômetros ao longo das linhas do Metrô obedece o isolamento dos diversos aquíferos presentes para determinação das superfícies potenciométricas de cada aquífero atingido. Foram atribuídos valores de condutividade hidráulica (K) e, no escopo do trabalho não se faz necessária a correlação com permeabilidade intrínseca (k), uma vez que não consideramos a viscosidade dinâmica do fluido, nem sua densidade. Apenas assumimos que o produto decorrente do vazamento migra com a velocidade da água. A literatura clássica define uma faixa típica de condutividade hidráulica e permeabilidade intrínseca, ilustrada na Tabela 2

Tabela 2 - Permeabilidade Intrínseca e Condutividade Hidráulica de diversos meios porosos (sedimentos inconsolidados), segundo Fetter, 1988.

MATERIAL	PERMEABILIDADE INTRINSECA k (darcys)	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA K cm/seg)
silte, silte arenoso, areia argilosa	$10^{-3} - 10^{-1}$	$10^{-6} - 10^{-4}$
argila	$10^{-6} - 10^{-3}$	$10^{-9} - 10^{-6}$
areia siltosa, areia fina,	$10^{-2} - 10^0$	$10^{-5} - 10^{-3}$
areia média,	$10^0 - 10^2$	$10^{-3} - 10^{-1}$
areia grossa, cascalho	$10^1 - 10^2$	$10^{-2} - 10^0$

Os dados geológicos e hidrogeológicos foram obtidos a partir de observações de campo em cada local envolvido e também junto ao arquivo técnico da Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô). No campo foram levantadas as informações inferidas sobre direção de fluxo e gradiente estimados para cada local. As informações geológicas básicas foram obtidas através de bibliografia específica sobre a geologia da região metropolitana de São Paulo (ver item 9 - Referências Bibliográficas).

No Metrô, foram consultados perfis de sondagens, seções geológico/geotécnicas, mapas de localização e caracterização geotécnica do maciço. Estes dados foram checados com as informações levantadas em campo (estimativa de gradiente em função da topografia local) para a simulação final de direção e sentido de um eventual vazamento.

2.3 Interferências

Para cada posto foram levantadas todas as utilidades subterrâneas próximas, tais como galerias de águas pluviais, tubulações de esgoto, água ou gás e dutos de passagem de telefonia e energia elétrica. O cadastro das interferências foi feito com base em informações fornecidas pelo Metrô e em levantamentos de campo. A importância das utilidades foi avaliada levando-se em conta a posição destas em relação à cota dos tanques de armazenamento subterrâneo (TAS) e linhas de comunicação entre os tanques e bombas de abastecimento.

O cadastro de utilidades do Metrô está completo apenas nas áreas próximas às estações. No restante das áreas, as informações foram obtidas principalmente no levantamento de campo e informações verbais obtidas junto às concessionárias e funcionários antigos do Metrô, participantes dos projetos originais.

2.4 Métodos Construtivos

As informações referentes a este item também foram obtidas em documentação fornecida pelo Metrô, através do seu Departamento de Projeto Civil. Além da documentação fornecida, muitos detalhes técnicos foram transmitidos verbalmente, complementando as informações disponíveis. Nesta etapa, foram levantados os métodos construtivos utilizados na execução da obra e suas características particulares para cada trecho analisado, além de quaisquer outras utilidades existentes, tais como presença de dutos de ventilação, poços de alívio, acessos ou outras estruturas que possam interferir na migração de um vazamento de combustível.

O Relatório Individual Modular (RIM) do Posto MO 010 (vide nomenclatura de cadastro dos Postos. no Anexo 1), cita a existência de tais utilidades, também ilustradas nas seções, transversal e longitudinal, referentes a esse local.

2.5 Ponderação Adotada

Para a obtenção do grau de risco individual final de cada posto foi adotada a seguinte ponderação para os aspectos analisados, conforme ilustrado na Tabela 3, abaixo:

Tabela 3 - Ponderação individual de cada aspecto considerado

ASPECTO	PESO ADOTADO
<i>geologia/hidrogeologia</i>	4
<i>métodos construtivos</i>	2
<i>dados operacionais</i>	1
<i>interferências</i>	2*

* ver observação sobre interferências na pág.14.

A determinação desta ponderação está explicada a seguir.

Em qualquer caso de vazamento de produto para o subsolo, o fator mais importante na determinação da migração do produto é a geologia/hidrogeologia.

Quando o contaminante atinge o nível freático, passa a fluir segundo as características de fluxo locais, concordante com o gradiente hidráulico, que acabam determinando se este contaminante oferece ou não algum risco para as construções subterrâneas do Metrô.

Logo, este aspecto é determinante e também limitante no caso de um eventual vazamento. Assim o peso maior (4) adotado para este aspecto é plenamente justificável.

Conforme explicado no item 2.2 (Geologia, Geotecnia e Hidrogeologia) a água se move dos pontos de maior potencial para os pontos de menor potencial hidráulico, o que implica dizer que a água “desce” potencialmente, não significando que ela desça fisicamente. Uma vez que mesmo ocorrendo um vazamento, condições de potenciais de pressão favoráveis podem impedir esta migração.

Secundariamente, aparecem os métodos construtivos.

De fato, quando as condições geológicas/hidrogeológicas são favoráveis à contenção de um vazamento, poderá haver risco para o Metrô caso alguma característica construtiva constitua um vetor que favoreça a percolação do contaminante em direção a utilidade em questão e conseqüentemente aos túneis. Novamente, pode ser citado o caso da Linha MO 010, que indica a presença dos dutos de ventilação, que funcionaram como caminhos preferenciais de migração, conforme ilustrado nas seções, mesmo que o sentido de fluxo natural, de acordo com o gradiente local, foi caracterizado como diverso ao sentido do túnel, como visto em planta.

Em outras palavras, a presença de utilidades do Metrô (dutos, acessos, poços de alívio, galerias etc.) ou mesmo alterações provocadas pela obra tais como reaterros, introdução de estacas etc., pode condicionar o fluxo do produto em direção ao Metrô, mesmo nos casos em que o fluxo natural apresente um sentido diverso.

Um exemplo disto ocorreu próximo à Estação Paraíso, onde a presença do túnel do Metrô constituiu uma zona de alta condutividade hidráulica, definida pela interface concreto-macizo, provocando um rebaixamento do nível freático capaz de alterar as condições de fluxo locais, concentrando o fluxo em direção ao túnel e provocando o aparecimento de produto nas instalações do Metrô. Um outro exemplo já foi citado, está ilustrado no caso o RIM MO 10.

Foi então atribuído para este aspecto o peso 2 (dois).

Finalmente, o fator de menor importância e que por isto recebeu o peso 1, foi o referente aos dados operacionais do posto. De fato, a probabilidade de vazamento é maior em postos com tanques velhos, controle de estoque deficiente e instalações deterioradas.

Contudo, não é raro observar postos recém construídos ou reformados, com equipamentos novos, apresentarem vazamentos devidos a defeitos de fabricação em tanques ou danos em linhas causados por passagem de veículos pesados sobre o pavimento do posto.

Os valores de consistência e compactidade indicam a relação entre o maciço e sua capacidade de suporte. Solos com capacidade baixíssima normalmente apresentam problemas nas linhas e/ou conexões. Um exemplo prático é a localização de postos em áreas de recarga, como planícies caracterizadas por sedimentos aluviais argilosos de consistência mole ($IRP < 4$, com capacidade de suporte inferior à $0,90 \text{ kg/cm}^2$), onde o simples tráfego de automóveis sobre o pavimento pode provocar um pequeno recalque que potencializa a possibilidade de trincas em cotovelos ou conexões. Portanto, partindo-se sempre de suposições conservadoras, deve ser levada em consideração a hipótese de vazamento, mesmo em postos recém construídos.

Deve se ressaltar também a ausência de peso adotado para interferências na maioria dos locais. No caso, apesar de todas as áreas serem estudadas, normalmente as interferências situam-se acima da posição inferior dos tanques. Ainda, no âmbito do Posto normalmente não ocorrem interferências sob as linhas. Na maioria das vezes elas se situam ao longo das ruas. Logo, qualquer peso que fosse dado, por menor que seja, poderia influir no resultado final da matriz. Esse aspecto foi portanto considerado apenas nos locais em que as interferências realmente fossem um condicionante ao fluxo de um eventual vazamento. Nestes locais, o peso adotado é 2, uma vez que as interferências caracterizam-se como vetores potenciais de produto decorrente de vazamentos, com a capacidade de transporte para áreas afastadas dos pontos de vazamentos, conforme já explicado anteriormente, quando foi definida a área de 200 metros de cada lado das linhas. Os locais em que as interferências influíram na matriz final foram: NS 024, NS 025, NS 037, NS 038, LO 17 a LO 22 e MO 012 (vide nomenclatura de cadastramento no Anexo 1). No item relativo à apresentação dos resultados no que se refere às interferências, foi feita uma correlação entre o local, interferência, e respectiva cota em relação às cotas dos túneis e dos tanques subterrâneos.

3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

3.1 Visita

3.1.1 Dados Operacionais

Os dados operacionais dos Postos foram levantados em forma de entrevista com os responsáveis pelo Posto em visita ao local.

A ficha cadastral (Anexo 2) apresenta a maior abrangência possível de dados, gerando subsídios que possibilitem uma clara definição do grau de risco adotado para este critério.

Foram coletados os seguintes dados:

- *Razão Social, Distribuidora, Endereço, registro no DNC (Departamento Nacional de Combustíveis)*
- *Estação do Metrô mais Próxima*
- *Tempo de Operação do Posto. Esta informação possibilita estimar a idade dos equipamentos, dado essencial em função de uma expectativa de vida útil de tanques e linhas.*
- *Tipos de Combustíveis Estocados; Número de Tanques e Linhas; Tancagem (para cada combustível e total). Este dado possibilita um tratamento estatístico do vazamento, uma vez que quanto maior o número de tanques, volume estocado e linhas, maior a probabilidade de vazamento e suas consequências.*

- *Tipo de Aferição de Volume.* Esta informação permite verificar a precisão da medição de volumes nos tanques, uma vez que às vezes, um pequeno vazamento torna-se inperceptível através de medidas manuais (régua medidora), e pode ter grandes consequências se continuado por longo tempo.
- *Tipo de Descarga de Produto (Normal ou Selada).* As descargas normais caracterizam -se pela simples inserção da mangueira proveniente do caminhão tanque no bocal de descarga, e deste modo estão sujeitas à uma perda média de 2 a 3 litros por operação, o que acarreta em um grande volume, considerando uma média de 2 a 3 descargas por semana (por posto), totalizando um volume superior a 120 litros por ano. A descarga selada configura uma operação hermética.
- *Troca e Destino de Óleo Lubrificante.* O óleo lubrificante trocado tem como destino tambores ou reservatórios próprios, dotados de caixas separadoras óleo-água. Caso não ocorra a manutenção adequada dessas caixas, pode haver a contaminação do sub-solo ou ainda das galerias pluviais e de esgoto no entorno do Posto.
- *Lavagem de Veículos.* Do mesmo modo, a água reslutante da lavagem possui muitas vezes solventes diversos (eventualmente compostos halogenados, mais densos que a água e de difícil degradação no meio ambiente subsuperficial), óleo diesel e outros produtos. Desta forma, as galerias podem ser contaminadas caso não haja uma separação adequada.
- *Realização de Testes de Estanqueidade, Manutenção de Linhas e Troca de Tanques.* Informação que infere na frequência de manutenção dos equipamentos, e consequentemente a existência pretérita de algum problema e/ou vazamento detectado.
- *Proteção dos Tanques e Linhas.* Este dado pressupõe a minimização da potencialidade de ocorrência de vazamentos, em função da existência de mecanismos de proteção, como tanques de parede dupla, proteção catódica, revestimentos de epóxi, entre outros.

- *Condições Gerais do Pavimento do Posto.* As condições do pavimento são importantes para a previsão das condições da linhas e calotas superiores dos tanques. Pavimentos com fissuras possibilitam a percolação de águas pluviais e ainda produto (através de derrames acidentais).
- *Notificação de Algum Indício de Vazamento nas Proximidades, Estimativa de Perda de Produto pelo Caixa.* Muitas vezes as operações de medição não são feitas adequadamente, necessitando uma calibração através de um controle de fluxo de caixa adequado.
- *Derrames Acidentais.* Os derrames acidentais não são detectados por testes de estanqueidade, medições ou controles de caixa, porém normalmente tem com destino final as galerias pluviais, que podem configurar um risco potencial.
- *Dados diretos sobre algum vazamento pretérito.* Mesmo que os equipamentos apresentem-se herméticos, há a possibilidade de algum passivo ambiental referente ao estabelecimento, uma vez que um grande número de postos apresentam idade avançada, não existindo registro de manutenções pretéritas.

3.1.2 Relatórios Individuais Modulares - RIM's

Os relatórios individuais modulares exibem, de forma resumida, todas as características dos locais estudados, referentes à cada Posto de Abastecimento cadastrado. Foram gerados 75 relatórios individuais modulares. Seu objetivo é a análise e interpretação dos dados obtidos nos levantamentos dos itens referentes à dados cadastrais e operacionais do posto; geologia, geotecnia e hidrogeologia correspondente à área de abrangência do local, interferências (águas pluviais, esgoto, tubulações etc.) e aspectos construtivos de interesse dos túneis do Metrô.

Os Relatórios Individuais Modulares exibem os resultados de cada etapa estudada, o cruzamento das informações com os graus de risco definidos para cada uma e a conclusão final. São apresentados resultados e considerações sobre os relatórios individuais dos Postos MO 010, LO 022 e NS 034, com suas respectivas seções transversal, longitudinal e planta, indicando a situação de grau de risco para o Metrô.

3.2 Geologia, Geotecnia e Hidrogeologia

3.2.1 Situação Topográfica e Geográfica da Cidade de São Paulo.

A área da cidade de São Paulo está localizada numa Bacia Sedimentar situada no Planalto Atlântico. O diâmetro médio da bacia tem cerca de 35 km. Os níveis topográficos mais baixos dentro da bacia estão aproximadamente na cota 720m (calha do Rio Tiete) e os mais elevados na cota 825m (espigão da Paulista), conforme ilustrado na Figura 1 (Situação Topográfica da Bacia de São Paulo), que exhibe a conformidade topográfica da Bacia. É facilmente visualizado que a Bacia de São Paulo está longe de ser plana, apresentando um relevo bastante acidentado.

Os rios Tietê e Pinheiros drenam o terreno da Bacia ao longo das abas das serras encontradas ao Norte e a Oeste. A rede do Metrô atinge parcialmente estas serras. Isto significa que as linhas do Metrô vencem diferenças de nível de até 100m.

Figura 1 - Situação Topográfica da Bacia de São Paulo (Consórcio Hochtief Montreal Deconsult - Pré-Projeto de Engenharia, 1962)

3.2.2 Geologia da Área Metropolitana

A base e as bordas da Bacia de São Paulo são constituídas por rochas pré-cambrianas, particularmente granitos, gnaisses e xistos.

A depressão que constitui a bacia possui a hipótese de ter-se formado devido a movimentos tectônicos. Indícios de falhamentos na borda Norte da bacia podem comprovar a hipótese tectônica na gênese da bacia (Coutinho J. M. V. in "workshop" - Geologia da Bacia de São Paulo, 1989)

De fato, foram observados em campo grandes falhamentos na região leste da bacia, na área próxima ao rio Guaratiba, na extensão Leste, na região compreendida entre as futuras estações Pêssego e José Bonifácio. A interpretação da imagem do satélite Landsat WRS 219/076 D, canal 5, escala 1:100.000, permite que seja inferida a continuidade dos falhamentos de Taxaquara, Boquira e Caucaia nesta área. Ainda, são associados alguns falhamentos secundários, perpendiculares à direção principal ENE-WSW, condicionando o falhamento observado em campo, do rio Guaratiba, que infere em afloramentos de migmatito-gnaisse, mesmo não se tratando do limite da bacia, uma vez que são observados novos pacotes sedimentares mais a leste (Kolesnikovas, C. in "Themag Engenharia - Relatório Técnico do Trecho Itaquera-Guaianazes, 1989").

Como visualizado na planta geológica da Região Metropolitana da Figura 2 e nas seções geológicas da Figura 3, a espessura do pacote sedimentar da bacia atinge até 200 m (região da Moóca), sendo normalmente menor. As sondagens da área do trecho Itaquera - Guaianazes indicaram pacotes sedimentares da ordem de 60 metros (Kolesnikovas, C, "constatação pessoal", in "Themag Engenharia - Relatório Técnico do Trecho Itaquera-Guaianazes, 1989")

O embasamento cristalino da bacia acha-se recoberto inicialmente por uma camada de aproximadamente 70 metros de areias médias e grossas, com pouca presença de argila.

Acima disso, na área objeto de estudo, seguem-se camadas de argilas rijas variegadas, intercaladas de lentes arenosas finas e médias, argilosas. A espessura dessas camadas argilosas, atinge até 70 metros na Av. Paulista.

As zonas elevadas no centro da Bacia acham-se recobertas por uma camada de argila vermelha, porosa. Ao longo dos atuais cursos d'água ocorrem sedimentos aluviais.

As condições de consistência e compacidade dos diversos pacotes litológicos presentes, foram definidas a partir dos estudos realizados quando da elaboração do Relatório Técnico do Trecho Itaquera-Guaianazes (Kolesnikovas, 1989) e de maneira resumida podem ser citadas da seguinte forma:

- As camadas superiores (cota 780 a 815 m) de argila vermelha, porosa, apresentam consistência mole a média; sendo que próximo à cota 750 m, a argila apresenta cor variegada, pouco silte e areia, sendo classificada como média a rija, e abaixo disto e entre as cotas 740 a 700 m, as argilas apresentam pouquíssimo silte, cor cinza e consistência muito rija a dura.*
- As areias apresentam compacidade variando de média (areias silto-argilosas com pedregulho, presentes entre as cotas 750 a 790 m), compactas (areias silto-argilosa, entre as cotas 710 e 725 m) e muito compactas, característica das areias siltosas, pouco argilosas, que ocorrem abaixo da cota 710 m.*

Os índices de resistência a penetração foram obtidos com amostradores Terzaghi-Peck, através de ensaios SPT (Standard Penetration Test).

A Figura 2 exhibe o mapa geológico da região metropolitana.

A Figura 3 exhibe as seções indicadas na Figura 2, ilustrando as litologias em correspondência às suas cotas.

A Tabela 4 exhibe as características geológicas, geotécnicas e hidrogeológicas, associadas às cotas de ocorrência, das litologias citadas acima.

Figura 2 - Planta Geológica da Região Metropolitana (Consórcio Hochtief Montreal Deconsult - Pré-Projeto de Engenharia, 1962)

Figura 3 - Seções Geológicas da Região Metropolitana (Consórcio Hochtief Montreal Deconsult - Pré-Projeto de Engenharia, 1962)

3.3 Geotecnia e Hidrogeologia

O pacote sedimentar que compõe o terciário da Bacia de São Paulo apresenta como características a presença de lentes arenosas, intercaladas por camadas de argila, conforme descrito no item anterior.

Os níveis potenciométricos apresentam-se bastante variados em termos de potencial hidráulico, com aquíferos inferiores apresentando potenciais de pressão elevados. Essa variação é função da situação hidrogeológica do local abordado, mais precisamente, zonas de descarga ou recarga, associado as condições de condutividade hidráulica das camadas confinantes de argila, como será mencionado e ilustrado na página seguinte.

Na zona do espigão (região da Av. Paulista, em torno da cota 820m), as camadas de areia profundas apresentam um nível potenciométrico mais baixo que o das camadas de areia em pequena profundidade. Nos vales (zonas de descarga), esta condição é inversa. Isto pode ser explicado pelo equilíbrio dinâmico do sistema de fluxo subterrâneo.

Nestes sedimentos, a distribuição de lentes arenosas permeáveis imersas em um material argiloso também permeável, porém com condutividades hidráulicas entre 3 e 4 ordens de grandeza menores que a das areias, condiciona diferentes condutividades hidráulicas nos sentidos vertical e horizontal.

De fato, considerando-se uma situação apenas de três camadas, sendo uma camada de areia configurando uma lente arenosa, com uma espessura de 2 metros e uma condutividade hidráulica estimada em 10^{-4} , confinada entre duas camadas de argila com 10 metros de espessura e uma condutividade hidráulica de 10^{-7} cm/s, teríamos uma condutividade média vertical de $1,099 \times 10^{-7}$ cm/s, e uma condutividade hidráulica média horizontal de $1,01 \times 10^{-4}$ cm/s.

A Figura 4 (Fetter, 1988) ilustra como as condutividades médias vertical e horizontal podem ser facilmente calculadas.

$$K_h avg = \sum_{m=1}^n \frac{K_{h_m} d_m}{d}$$

$$K_v avg = \frac{d}{\sum_{m=1}^n \frac{d_m}{K_{v_m}}}$$

Figura 4 - Condutividades Médias de Diferentes Camadas (Fetter, 1988)

Assim, a condutividade hidráulica média horizontal é condicionada pelas lentes arenosas, mais permeáveis enquanto que a condutividade hidráulica média vertical é condicionada pelas camadas argilosas, menos permeáveis.

Logo, temos no espigão uma condição de infiltração mais imediata para as camadas arenosas superiores e nos vales, um escoamento facilitado dessas mesmas camadas em relação às inferiores.

Para simulação de um eventual vazamento de tanque de abastecimento subterrâneo, visando uma avaliação segura e precisa das condições de fluxo hidráulico subterrâneo, é necessário que se construam poços de observação e/ou piezômetros para se obter medidas do nível d'água e assim construir-se um mapa potenciométrico.

Contudo, estas condições puderam ser previstas com relativa segurança a partir de observações de campo e análise dos perfis geológico-geotécnicos fornecidos pela companhia do Metropolitano de São Paulo e adoção de valores físicos, no caso, condutividade hidráulica (K), porosidade efetiva para fluxo (n_{ef}) e gradientes (i), que, no caso da inexistência de dados ilustrados nas seções, foram assumidos valores tradicionalmente aceitos na literatura especializada.

Os valores foram adotados segundo faixas típicas características das litologias geralmente encontradas, de acordo as cotas, que relacionam-se de modo diretamente proporcional à consistência e /ou compacidade do maciço, sempre no sentido de se obter a situação mais desfavorável possível para o Metrô.

Desta forma, as velocidades de fluxo do contaminante obtidas são sempre as máximas possíveis e a situação final representada nas seções é a de maior risco para o Metrô.

A Tabela 4 ilustra a correlação entre litologia, compacidade/consistência, condutividade hidráulica, porosidade efetiva para fluxo e cotas de ocorrência aproximadas, para determinação das velocidade reais.

A faixa de condutividade hidráulica das argilas vermelhas porosas foi definida entre 1×10^{-5} e 5×10^{-6} cm/s, com porosidade efetiva para fluxo entre 8 e 10%; enquanto que as argilas médias a rijas tiveram suas condutividades hidráulica definidas na faixa entre 1×10^{-6} e 5×10^{-7} cm/s, com porosidade efetiva para fluxo entre 5 e 8% e finalmente as argilas duras entre 1×10^{-7} e 5×10^{-8} cm/s e porosidade efetiva para fluxo em torno de 5%.

As areias que apresentam média compactidade (areias silto-argilosas com pedregulho, presentes entre as cotas 750 a 790 m), tiveram um valor de condutividade hidráulica definido entre 1×10^{-4} e 5×10^{-4} cm/s e porosidade efetiva para fluxo de 15% a 20%; as areias compactas (areias silto-argilosas, entre as cotas 710 e 725 m), um valor entre 1×10^{-5} e 5×10^{-5} cm/s, com porosidade efetiva para fluxo entre 10 e 15%; e as areias muito compactas, (areias siltosas, pouco argilosas, que ocorrem abaixo da cota 710 m), um valor de 1×10^{-6} e 5×10^{-6} cm/s e porosidade efetiva para fluxo em entre 5 e 10%.

Essa atribuição de valores varia de acordo com a consistência ou compactidade das camadas e se deu em função das camadas mais consistentes e compactas apresentarem normalmente um valor de condutividade hidráulica menor do que as menos consistentes ou menos compactas. O mesmo raciocínio se aplica à porosidade efetiva para fluxo. Porém, conforme já frisado, visando obter a situação sempre mais crítica para o Metrô, foram sempre adotados os valores mais críticos possíveis, dentro das faixas estabelecidas.

O gradiente hidráulico, na zona não saturada, foi admitido supondo que um eventual vazamento provoca saturação no solo, fluindo verticalmente, para baixo. Portanto o gradiente hidráulico foi considerado vertical e igual a 1.

Para o cálculo das velocidades (reais) de percolação foi adotada uma fórmula baseada na Lei de Darcy:

$$V_R = \frac{K \cdot i}{n_{ef}}$$

onde: V_R é a velocidade real de fluxo [L/T]

K é a condutividade hidráulica do meio [L/T]

i é o gradiente hidráulico [L^0]

n_{ef} é a porosidade efetiva para fluxo [L^0]

Os resultados individuais de cada local estudado foram descritos nos RIM's (Relatórios Modulares Individuais) para cada Posto cadastrado. Neste estudo, foram apresentados e discutidos os relatórios referentes aos postos LO 022, NS 034 e MO 010, comparando locais com diversos valores atribuídos aos fatores considerados.

A Tabela 4 exibe a correlação entre os parâmetros acima descritos.

Tabela 4 - Correlação entre Características Geológicas, Geotécnicas e Hidrogeológicas da Formação São Paulo, no Âmbito da Área Estudada

MATERIAL	COTA APROXIMADA DE OCORRÊNCIA (m)	CONSISTÊNCIA/COMPACIDADE	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (cm/s)	POROSIDADE EFETIVA PARA FLUXO (nef) - (%)	VELOCIDADE REAL (cm/dia)
Argila silto-arenosa, porosa, vermelha	780 - 815	mole a média	$10^{-5} - 5 \times 10^{-6}$	8 - 10	10,80 - 4,30
Argila silto-arenosa, variegada	745 - 755	média a rija	$10^{-6} - 5 \times 10^{-7}$	5 - 8	1,70 - 0,50
Argila silto-arenosa rija a dura, cinza	700 - 740	rija a dura	$10^{-7} - 5 \times 10^{-8}$	5	0,17 - 0,08
Areia silto-argilosa, com pedregulhos, vermelha variegada	750 - 790	fofa a média	$5 \times 10^{-4} - 10^{-4}$	15 - 20	288,00 - 43,20
Areia silto-argilosa, amarela	710 - 725	média a compacta	$5 \times 10^{-5} - 10^{-5}$	10 - 15	43,20 - 5,75
Areia pouco argilosa, siltosa, cinza amarelada	690 - 715	compacta a muito compacta	$5 \times 10^{-6} - 10^{-6}$	5 - 10	5,75 - 0,86

Como pode ser visto, a velocidade real será apresentada dentro de uma faixa para cada pacote litológico definido, porém, para o estudo, sempre será considerado o caso mais crítico, ou, seja, a maior velocidade real.

3.4 Métodos Construtivos do Metrô

Basicamente, os métodos construtivos empregados pelo Metrô resumem-se a três, Vala a Céu Aberto, Shield e NATM. Estes métodos estão descritos resumidamente, de modo a abordar as características que impliquem diretamente no grau de risco em função de um vazamento proveniente de algum posto de serviço.

O sistema de vala a céu aberto, também conhecido como "cut and cover" é o que apresenta o maior grau de risco para o Metrô, na eventualidade de um vazamento, uma vez que para sua execução, normalmente o terreno é estaqueado (cravação de vigas), e após a retirada da estaca, o espaço é normalmente preenchido com areia, propiciando a criação de um vetor com altíssima condutividade hidráulica.

O sistema de vala a céu aberto é baseado na retirada do solo para a construção de galerias (túneis) subterrâneas. A condição básica para a execução de galerias subterrâneas por este sistema é haver terreno que permita a abertura de uma vala com as dimensões necessárias para a construção.

Isto acontece quando o traçado da linha acompanha ruas suficientemente largas. No presente estudo, a área abrangida por este método ocorre no início da Av. Paulista, sobre a Av. 24 de Maio.

Basicamente, o método consiste no escoramento das paredes verticais da vala de acordo com o processo de escavação, através da cravação de perfis, colocando-se pranchões de madeira horizontais nos espaços intermediários. O rebaixamento do lençol freático é realizado normalmente por poços filtrantes. Após a conclusão da escavação ocorre a impermeabilização das paredes, através de concretagem e aplicação de betume.

Depois de reaterrados, os perfis (estacas) são retirados, com preenchimento do espaço resultante da cravação e feito o pavimento da rua.

São empregados também métodos conhecidos como Paredes-Diafragma, quando ocorre a proximidade de edifícios, resultando em cargas muito elevadas, em que as paredes da vala não resistiriam.

Em solos com perigo de liquefação, são empregados Estacas-Pranchas, e ainda diversas outras variações, que não cabem ser citadas, por serem detalhes técnico construtivos.

A Figura 5 ilustra basicamente o método descrito. Na prática, muitas variantes e técnicas apropriadas a cada situação são empregadas.

O método exemplificado na Figura 5 é conhecido como método Berlinense, que obviamente sofreu muitas modificações para a aplicação às condições locais.

A Tabela 5 exhibe o resumo dos métodos empregados nos locais dos Postos cadastrados, em cada linha do Metrô.

Figura 5 - Sequência Construtiva Básica do Método Vala a Céu Aberto (Consórcio Hochtief Montreal Deconsult - Pré-Projeto de Engenharia, 1962)

O método conhecido como "shield", empregado no Ramal Paulista, é um método que permite o assentamento de anéis de revestimento do túnel em solos instáveis, através do emprego de uma couraça, que assume a sustentação temporária do terreno no vão aberto. Este sistema permite o uso de elementos pré-fabricados e o avanço contínuo pela aplicação de equipamento mecânico destinado à retirada ininterrupta de terra escavada.

De grande importância é a possibilidade de adaptação do equipamento às características e tipos de solo a serem escavados, assim como seu emprego sob condições variadas do lençol de água subterrânea.

Em princípio, este método não apresenta nenhuma condição adversa, uma vez que o revestimento é seqüencial, em forma de anéis de concreto, do tipo expansível. No caso específico das estações Trianon e Brigadeiro, o "shield" passou escavando e revestindo os túneis com anéis de aço, que seriam, ao final, parcialmente desmontados.

A Figura 6 ilustra basicamente a sequência construtiva utilizada por este método.

A Tabela 5 exhibe o resumo dos métodos empregados nos locais dos Postos cadastrados, em cada linha do Metrô.

Figura 6 - Sequência Construtiva Básica do Método "Shield" (Consórcio Hochtief Montreal Deconsult - Pré-Projeto de Engenharia, 1962)

O método conhecido como "natm" (New Austrian Tunneling Method), apresenta como característica básica a escavação do maciço através de métodos convencionais (pá-cavadeiras etc.) e contínuo revestimento por concreto projetado. O avanço é feito normalmente através de seção plena, ou seja, avanço da calota (parte superior da seção) e bancada (parte inferior da seção).

Quando ocorre uma situação geotecnicamente mais desfavorável, é executado um túnel piloto com diâmetro próximo do túnel definitivo, escavação da calota superior do túnel com instalação de cambotas treliçadas e posterior escavação da bancada restante.

Em princípio, este tipo de túnel não apresenta nenhum aspecto desfavorável, uma vez que preserva integralmente o solo entre o topo do túnel e a superfície, evitando a formação de zonas de maior condutividade hidráulica.

Entretanto, normalmente são necessários rebaixamentos dos níveis d'água, durante a escavação, quando são atingidas lentes arenosas, com potenciais de pressão elevados, que inferem em um fluxo de água para o interior do túnel. Ao final da escavação, após o concretamento, o rebaixamento de água é suspenso.

Esse rebaixamento aumenta sensivelmente o gradiente hidráulico, aumentando a velocidade de fluxo em direção ao Metrô, propiciando a migração de um eventual vazamento ao túnel.

A Figura 7 exhibe a sequência básica construtiva do método NATM.

Deve-se fazer a ressalva que cada local apresenta características que inferem na adoção de diversos métodos e variantes. Como exemplo podemos citar áreas de transição entre túnel e céu aberto, onde há o emprego tanto de NATM, Shield e Vala a Céu Aberto. Isso ocorreu próximo à interligação dos trechos Norte-Sul e Leste-Oeste, nas proximidades do viaduto da Avenida 23 de Maio, próximo à Av. Paulista. Ainda, os métodos podem ser empregados em outras utilidades (rampas, dutos de ventilação), como por exemplo na área próxima às Estações Trianon e Brigadeiro.

O método de escavação empregado foi de túneis em Shield, no entanto, os acessos laterais em ambos os lados da Av. Paulista foram executados em Cut-and-Cover, utilizando perfis metálicos colocados em pré-furos, posteriormente preenchidos. Além disso, houve a execução de tubulões para suporte dos mezaninos, poços de exaustão e poços de alívio. Como exemplo, a seção transversal do Posto MO-010, apresentada no item 7, ilustra a presença de um duto de ventilação.

Portanto, o grau de risco dos locais estudados não é definido apenas pela adoção de um ou outro método construtivo, mas sim pela avaliação das estruturas e utilidades existentes, além do método empregado.

Além destes, ocorre o método de construção para Vias Elevadas, em alguns locais do trecho Norte-Sul e em um local do trecho Leste - Oeste, que em princípio não apresentam risco, uma vez que um eventual vazamento estará abaixo das linhas e/ou estações do Metrô foram considerados na matriz final, devido ao risco de rede elétrica do Metrô, muitas vezes subterrâneas, ou ainda quaisquer outra particularidades.

A Tabela 5 exibe o resumo dos métodos empregados nos locais dos Postos cadastrados, em cada linha do Metrô.

Tabela 5 - Métodos Construtivos do Metrô nos locais dos Postos Cadastrados

MÉTODOS CONSTRUTIVOS			
SHIELD	NATM	VALA A CÉU ABERTO	VIA ELEVADA
NS 001	NS 002	NS 003; NS 011 a 036	NS 005 a 010 e NS 037 a 038
MO 011 a MO 0113	MO 001 a MO 006; MO 008 a MO 010; MO 014	MO 007; MO 015; MO 016 e MO 016 A	—
LO 011 a LO 013	—	LO 001 a LO 009 *; LO 014 a LO 022	LO 010

Obs. * Método de Vala a Céu Aberto, porém com as linhas ao nível do terreno

Figura 7 - Aspectos Construtivos Básicos do Método NATM (Consórcio Hochtief Montreal Deconsult - Pré-Projeto de Engenharia, 1962).

3.5 Interferências

As interferências cadastradas resumem-se à presença de galerias de esgoto, águas pluviais, dutos de passagem de cabos telefônicos (Telesp), adutoras de abastecimento de água (Sabesp) e dutos de abastecimento de Gás. Os locais onde as interferências foram consideradas, de acordo com o exposto no item 2.5 - Ponderação Adotada, estão listados na Tabela 6 abaixo, relacionando o tipo de interferência, sua posição relativa ao nível d'água e topo do túnel. A Matriz Final de Risco do item 4, exibe o peso dado à cada interferência abaixo listada. No geral, as interferências somente tiveram influência quando a cota do topo do túnel apresenta-se próximo à cota do nível d'água e este próximo à cota das interferências. No caso dos locais NS 037 e NS 038, a influência é função de derrames acidentais que possam atingir estas interferências e consequentemente migrar para o sistema elétrico do páteo de manobras, que possui cablagem enterrada, sub-aflorante.

Tabela 6 - Interferências - Posição Relativa ao Nível d'água e Topo do Túnel

LOCAL	INTERFERÊNCIA/COTA (m)	COTA (m) NÍVEL D'ÁGUA	COTA (m) DO TÚNEL (TOPO)
NS 024	G - 6" (801,5), PL - 9" (801,5), SB - 2" (802,5)	790,4	801,0
NS 025	G - 6" (801,5), PL - 9" (801,5), SB - 2" (802,5)	790,4	801,0
NS 037	PL - 9" (SUB-AFLORANTE)		PÁTIO DE MANOBRAS
NS 038	PL - 9" (SUB-AFLORANTE)		PÁTIO DE MANOBRAS
LO 017	EG - 8" (738,5), PL - 32" (738,5), TL - 12 X4" (738,0)	737,0	736,0
LO 018	EG - 8" (737,5), PL - 32" (737,5), TL - 4 X4" (737,0)	736,0	735,0
LO 019	EG - 8" (737,5), PL - 32" (737,0), TL - 12X4" (736,0)	735,5	734,5
LO 020	EG - 20" (731,0), PL - 16" (731,0), TL 12X4" (730,6)	729,0	727,0
LO 021	EG - 20" (729,0), PL - 16" (729,0), TL 12X4" (728,6)	727,0	725,5
LO 022	PL - 16" (731,0)	729,0	727,0
MO 012	SB - 16" (814,0), G - 4" (814,6), EG - 8" (812,0), EL 4" (812,0), TL 12X4" (728,6), PV-TL (811,5)	801,0	808,0

LEGENDA:

EG - Esgoto	EL - Cablagem Eletropaulo
TL - 12x 4" - Cablagem Telesp, 12 dutos de 4"	PV-TL - Ponto de Visita Telesp
PL - Galeria Pluvial	G - Duto de Gás
SB - Adutora Sabesp	16" - Diâmetro da interferência
814,6 - Cota em metros	

4. Matriz Final de Risco

A matriz final ilustrada nas Tabela 7 (Linha Norte-Sul), Tabela 8 (Linha Madalena-Oratório) e Tabela 9 (Linha Leste-Oeste) exibe um relato dos riscos atribuídos aos locais, definidos para cada item analisado, bem como o risco final ponderado.

Em função de cada risco final, cada local apresenta uma ou mais rotinas de procedimento, com uma determinada frequência, conforme abordado no item 5.

Tabela 7 - Matriz final de Risco - Linha N-S

LINHA NORTE-SUL					
CÓDIGO	OPERACIONAL	GEOLÓGICO/ HIDROGEOLÓGICO	INTERFERÊNCIAS	MÉTODOS CONSTRUTIVOS	RISCO FINAL PONDERADO
NS 001	2	1	1	1	1,1
NS 002	2	1	1	1	1,1
NS 003	4	4	—	4	4,0
NS 004	desativado	desativado	desativado	desativado	—
NS 005	2	1	—	0	0,9
NS 006	1	1	—	0	0,7
NS 007	4	1	—	0	1,1
NS 008	3	1	—	0	1,0
NS 009	4	1	—	0	1,1
NS 010	3	1	—	0	1,0
NS 011	1	2	—	2	1,9
NS 012	1	2	—	4	2,4
NS 013	4	3	—	4	3,4
NS 014	4	3	—	4	3,4

Tabela 7 continuação

NS 015	4	4	–	4	4,0
NS 016	3	4	NÃO DISPONÍVEL	4	3,9
NS 017	2	4	NÃO DISPONÍVEL	4	3,7
NS 018	4	3	–	4	3,4
NS 019	3	3	–	4	3,3
NS 020	4	3	–	4	3,4
NS 021	4	2	–	4	2,9
NS 022	2	3	–	4	3,1
NS 023	4	4	–	4	4,0
NS 024	4	2	3	4	2,9
NS 025	4	3	3	4	3,4
NS 026	3	4	–	4	3,9
NS 027	4	3	–	4	3,4
NS 028	4	4	–	4	4,0
NS 029	4	3	–	4	3,4
NS 030	4	1	–	4	2,3
NS 031	4	3	–	4	3,4
NS 032	4	3	–	4	3,4
NS 033	3	3	–	4	3,3
NS 034	3	1	–	4	2,1
NS 035	2	3	–	4	3,1
NS 036	3	4	–	4	3,9
NS 037	3	2	2	1	1,9
NS 038	2	2	2	1	1,8

Tabela 8 - Matriz Final de Risco - Linha Madalena-Oratório

LINHA MADALENA - ORATÓRIO					
CÓDIGO	OPERACIONAL	GEOLÓGICO/ HIDROGEOLÓGICO	INTERFERÊNCIAS	MÉTODOS CONSTRUTIVOS	RISCO FINAL PONDERADO
MO 001	2	2	--	4	2,6
MO 002	1	2	--	4	2,4
MO 003	3	2	--	4	2,7
MO 004	desativado	desativado	desativado	desativado	--
MO 005	4	3	3	4	3,3
MO 006	3	4	4	4	3,6
MO 007	4	4	4	4	4,0
MO 008	2	1	--	4	2,0
MO 009	3	2	--	4	2,7
MO 010	4	3	--	4	3,4
MO 011	4	1		1	1,4
MO 012	2	2	2	3	2,4
MO 013	3	2	--	1	2,3
MO 014	1	4	--	2	3,6
MO 015	3	1	--	2	1,6

Tabela 9 - Matriz Final de Risco - Linha Leste - Oeste

LINHA LESTE - OESTE					
CÓDIGO	OPERACIONAL	GEOLÓGICO/ HIDROGEOLÓGICO	INTERFERÊNCIAS	MÉTODOS CONSTRUTIVOS	RISCO FINAL PONDERADO
LO 001	4	1	—	1	1,4
LO 002	4	1	—	1	1,4
LO 003	3	1	—	1	1,3
LO 004	2	1	—	1	1,1
LO 005	2	1	—	1	1,1
LO 006	4	1	—	1	1,4
LO 007	2	1	—	1	1,1
LO 008	2	1	—	1	1,1
LO 009	3	1	—	1	1,3
LO 010	4	1	—	1	1,4
LO 011	4	2	—	2	2,3
LO 012	2	2	—	2	2,0
LO 013	4	4	—	2	3,4
LO 014	4	2	—	4	2,9
LO 015	2	3	3	4	3,1
LO 016	2	2	3	4	2,7
LO 017	2	4	3	4	3,8
LO 018	4	4	3	4	4,0
LO 019	3	4	3	4	3,9
LO 020	4	3	3	4	3,3
LO 021	4	3	3	4	3,3
LO 022	4	4	4	4	4,0

5. Rotinas de Procedimento

Uma vez determinados riscos específicos para cada local, faz-se necessário a elaboração de Rotinas de Procedimento visando um monitoramento preventivo e de controle nos locais suscetíveis de risco.

Foram então definidas quatro rotinas que contemplam as necessidades de prevenção e controle, objetivando mitigar os impactos definidos pelos riscos determinados:

- *Medidas de produto nos piezômetros existentes na área. Rotina inicial de monitoramento preventivo.*
- *Vistorias regulares ao longo das linhas. Rotina realizada obrigatoriamente em função de constatação de produto quando da aplicação da rotina 1 e também regularmente, caso o produto tenha ultrapassado o ponto de observação, ou mesmo caso o freático esteja abaixo do túnel, que portanto pode ser atingido antes de detectado pelo piezômetro*
- *Aplicação de mantas geotêxteis. Rotina realizada caso haja constatação quando da rotina anterior.*
- *Vistoria dos Postos de Abastecimento. Rotina independente das demais, que tem por objetivo recadastrar os Postos e aferir o grau de risco atribuído a cada local.*

Ainda, de acordo com o grau de risco do local, foi definida a frequência de aplicação de cada rotina, como será abordado nos sub-itens relativos às frequências.

A metodologia de cada rotina está explicitada, a seguir.

5.1 Medidas de Produto em Poços de Observação (Piezômetros)

5.1.1 Objetivo

Esta Rotina tem como objetivo as atividades de monitoramento, através de medidas de nível de produto sobredrenante no aquífero nos piezômetros instalados nos locais indicados conforme recomendações descritas nos relatórios modulares individuais dos postos, de acordo com seus riscos finais ponderados.

5.1.2 Introdução

A gasolina, por ser uma mistura de compostos orgânicos imiscível com a água, de menor densidade que esta, ao atingir a superfície do lençol freático passa a flutuar sobre o mesmo e, excetuando-se raros casos, passa a fluir no mesmo sentido do fluxo da água subterrânea.

A permeabilidade intrínseca do solo e os gradientes do local serão responsáveis pela velocidade do transporte do contaminante nas águas subterrâneas ou pela sua progressão sobre o lençol freático. As medidas de nível de produto podem ser realizadas de diversas formas, a saber:

Amostragem de água através de amostrador transparente, tipo pipeta, com válvula na parte inferior do amostrador. Esta técnica não é recomendada, pois com pequenas lâminas de produto (< 1 cm), a válvula só permitirá a entrada de líquido após o amostrador já ter ultrapassado a lâmina de produto, mascarando portanto, a amostragem.

Uma segunda técnica é a utilização de medidores de interface água-gasolina. Estes medidores são precisos, captando lâminas da ordem de até 1 milímetro. A medição é executada de acordo com a diferença de som emitido no meio água (som intermitente) e produto (som contínuo).

Uma terceira técnica, simples, porém eficaz, é a utilização de "pasta d'água". Trata-se de um produto que tem sua cor alterada ao entrar em contato com a água. No entanto, não altera sua cor na presença de gasolina, podendo-se assim determinar a espessura de produto no poço.

5.1.3 Metodologia

A verificação da presença de produto em poços de observação é feita através de um medidor de nível d'água elétrico. Uma vareta de madeira de pequeno diâmetro (2,5 mm), do tipo vareta japonesa, com aproximadamente 40 cm de comprimento deve ser fixada na parte terminal do medidor de nível d'água, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Vareta Permeável acoplada à Medidor Elétrico de Nível D'Água

Após a fixação, a vareta deve ser parcialmente coberta com pasta d'água, em todo seu comprimento. Executa-se a medida de nível d'água normalmente, inserindo-se o medidor no poço de observação até ouvir-se o sinal característico (bip). Caso haja produto no aquífero, a espessura deste ficará indicada pelo umedecimento da madeira, sem mudança de cor na pasta, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Metodologia para Verificação de Presença de Combustível através de Pasta D'água

Confirmada a presença de produto sobrenadante, deve-se avisar imediatamente o posto do qual o vazamento se originou e Cia. Distribuidora de combustíveis envolvidos para as devidas providências de recuperação.

Posteriormente segue-se roteiro da rotina de monitoramento 5.2, porém com frequência quinzenal, e 5.3, a partir da presença de produto no interior dos túneis.

5.1.4 Frequência das Atividades

Nos locais relativos aos postos classificados como de risco final ponderado $\geq 2,5$, efetuar monitoramento mensal.

Nos locais relativos aos postos classificados como de risco final ponderado entre 1,5 e 2,5, efetuar monitoramento com frequência bimestral.

Nos locais relativos aos postos classificados como de risco final ponderado $<1,5$, efetuar monitoramento trimestralmente.

As datas das atividades acima descritas devem ser lançadas no banco de dados gerado pelo Metrô, a partir dos estudos realizados

5.2 Vistorias Regulares ao Longo das Linhas, em Locais Considerados como de Risco.

5.2.1 Objetivo

Esta rotina de monitoramento tem como objetivo as atividades de vistorias regulares ao longo dos túneis, em locais considerados como de risco, de acordo com as recomendações descritas nos relatórios individuais modulares.

5.2.2 Introdução

Ao atingir a parede do túnel, a gasolina dissolve a camada impermeabilizadora de feltro e betume e infiltra-se para o interior do mesmo, comprometendo o funcionamento da rede elétrica e colocando em risco a vida dos usuários.

Ainda, mesmo não se confirmando presença de produto em poços de observação (conforme rotina de monitoramento 5.1), eventualmente pode haver surgência de produto no interior do túnel, devido à pluma de contaminação já ter ultrapassado o ponto de observação e cessado o vazamento, ou ainda caso o freático esteja abaixo da cota do túnel, este podendo então ser atingido antes.

5.2.3 Metodologia

Esta rotina resume-se apenas à uma vistoria simples nos locais classificados como de Risco. Uma vez detectada a presença de produto, aplica-se a Rotina de Procedimento 5.3 (Aplicação de Mantas Absorventes).

5.2.4 Frequência das Atividades

Nos locais relativos aos postos classificados como de risco final ponderado $\geq 2,5$, efetua-se monitoramento mensal.

Nos locais relativos aos postos classificados como de risco final ponderado entre 1,5 e 2,5, efetua-se monitoramento com frequência bimestral.

Nos locais relativos aos postos classificados como de risco final ponderado menor que 1,5, efetua-se monitoramento trimestralmente.

As datas das atividades acima descritas devem ser lançadas no banco de dados gerado pelo Metrô, a partir dos estudos realizados.

5.3 Aplicação de Mantas Geotêxteis Absorventes

5.3.1 Objetivo

Esta rotina de monitoramento tem como objetivo as atividades de remediação, através de aplicação de mantas geotêxteis absorventes em locais de surgência de produto nas paredes dos túneis do Metrô.

5.3.2 Introdução

Como mencionado na Rotina de Monitoramento nº 6.2, ao atingir a parede do túnel, a gasolina dissolve a camada impermeabilizadora de feltro e betume e infiltra-se para o interior do mesmo, comprometendo o funcionamento da rede elétrica e colocando em risco a vida dos usuários. As técnicas de recuperação a partir da superfície podem não ser suficientes, uma vez que grande parte do produto fica retida no solo (fase sorvida), sendo liberada lenta e gradativamente. Portanto, a aplicação de mantas absorventes no interior do túnel, uma vez detectado o vazamento, é fundamental. As mantas absorventes de hidrocarbonetos e produtos químicos absorvem hidrocarbonetos derramados na água ou solo e ainda formam uma eficiente barreira contra o espalhamento do produto, mesmo quando atingido o grau de saturação. Um resumo técnico das referidas mantas geotêxteis encontra-se na página seguinte.

5.3.3 Metodologia

As mantas apresentam diversas dimensões. Contudo o material de confecção é de fácil manuseio. Portanto estas devem ter seu formato adequado as características do vazamento. A aplicação na parede do túnel ou local de aparecimento de produto (caixas de inspeção, condutos de ventilação etc.) deve ser feita de modo apenas a deixar a manta em contato com o produto até atingir-se o grau de saturação, quando então devem ser espremidas para recuperação de produto e reaplicadas enquanto houver surgência de produto.

Mesmo após o esgotamento de produto, as vistorias no local devem continuar esporadicamente, uma vez que, como foi dito anteriormente, a liberação de produto a partir da fase sorvida é lenta e gradual.

Um resumo das características técnicas das mantas geotêxteis absorventes está ilustrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Características Técnicas de Mantas Geotêxteis

Produtos	Taxa de Absorção	Exemplo de Aplicação
Anilina	3,2	Produto: Diesel Taxa de Absorção: 19,1:1 Peso da manta = 40g Absorção Total: 40 g x 19,1 = 764 g/pc
Benzeno	15,4	
Acetato de Butila	13,7	
Tetracloroeto de Carbono	18,9	
Clorobenzeno	8,7	
Cloroformio	9,3	
Cyclohexano	15,8	
Diesel	18,7	
Gasolina	20,4	
Methyl methacrylato	8,7	Produto: Gasolina Taxa de Absorção: 20,4 Peso da manta = 40g Absorção Total: 40 g x 19,1 = 816 g/pc
Monoethylamina	12,5	
Nitrobenzeno	14,5	
Nitrotolueno	14,8	
Estireno	3,7	
Monocloreto Sulfurico	20,3	
Chumbo tetraetilico	1,7	
Tolueno	16,6	
Trichloroethyleno	21,7	
Acetato de Vinila	13,3	
Xilenos	14,8	

5.4 Vistorias dos Postos de Abastecimento

5.4.1 Objetivo

Esta rotina de monitoramento tem como objetivo as atividades de reavaliação cadastral dos postos de abastecimento considerados como de risco, a partir das recomendações descritas nos relatórios individuais modulares.

5.4.2 Introdução

De acordo com os dados cadastrais e operacionais dos postos, estes foram classificados segundo um grau de risco. Contudo, algumas medidas operacionais podem ser tomadas para minimizar as possibilidades de vazamento ou então acelerar sua detecção, minimizando os efeitos e consequentemente os riscos para o Metrô. Tais medidas, entre outras, incluem, medidas de nível de produto nos tanques (diárias), descarga selada de combustível, testes de estanqueidade, sistemas de proteção e detecção etc. Além do cuidado na estocagem do produto, deve-se atentar também para o escoamento da água de lavagem e demais efluentes gerados no posto, uma vez que a infiltração deste material no solo pode causar um impacto, mesmo que de menores proporções, se comparado ao de um vazamento de combustível.

5.4.3 Metodologia

Esta rotina resume-se basicamente em reavaliar as condições de operação dos postos segundo as recomendações descritas nos relatórios individuais modulares. A reavaliação deve ser feita apenas aplicando-se o questionário já efetuado no início dos trabalhos (ver Anexo 2), recadastrando os dados no banco de dados para comparação.

5.4.4 Frequência das Atividades

Esta rotina deve ser realizada semestralmente, salvo aparecimento de produto nos poços de observação, quando então, o posto e Cia. Distribuidora devem ser avisados imediatamente.

6. Legislação Existente

No Município de São Paulo, os órgãos responsáveis pela fiscalização são a CETESB e o CONTRU.

A legislação brasileira específica sobre o assunto resume-se a algumas normas técnicas editadas pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, a saber:

NB 98 - "Armazenamento e Manuseio de Líquidos Inflamáveis e Combustíveis"

NB 190 - "Fabricação e Instalação de Tanques Subterrâneos para Postos de Serviço de Distribuição de Combustíveis Líquidos"

NBR 7505 - "Armazenamento de Petróleo e seus Derivados Líquidos e Álcool Carburante".

NBR 13312 - "Construção de Tanque Atmosférico Subterrâneo em Aço-Carbono"

NBR 13781 - "Instalação de Tanque Atmosférico Subterrâneo em Posto de Serviço"

NBR 13782 - "Sistema de Proteção Externa para Tanque Atmosférico Subterrâneo em Aço Carbono e suas Tubulações, para Postos de Serviços"

NBR 13783 - "Instalação Hidráulica de Tanque Atmosférico Subterrâneo em Aço-Carbono, em Postos de Serviço"

NBR 13784 - Detecção de Vazamentos em Postos de Serviço"

NBR 13785 - "Construção de Tanque Atmosférico Subterrâneo em Aço-Carbono ou Não Metálico de parede Dupla, em Postos de Serviço"

NBR 13786 - "Seleção de Equipamentos e Sistemas para Instalações Subterrâneas de Combustíveis em Postos de Serviços"

NBR 13787 - "Controle de Estoque nos Sistemas de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis em Postos de Serviços"

NBR 13788 - "Proteção Catódica nos Sistemas de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis em Postos de Serviços"

NBR 13212 - "Tanque Subterrâneo de Resina Termofixa Reforçada com Fibras de Vidro para Armazenamento de Combustíveis Líquidos"

NBR 13220 - "Manuseio e Instalação de Tanques Subterrâneos de Resina Reforçada com Fibras de Vidro para Armazenamento de Combustíveis Líquidos"

Ainda, a legislação Municipal cita alguns artigos relacionados ao assunto, no caso:

Lei 8266 de 1975, "Código de Edificações do Município de São Paulo"

Lei 997, de 1976, aprovada pelo Decreto 8468, que dispõe sobre o "Controle da poluição do meio-ambiente".

Projeto de Lei (PL) nº 735, de 1995, publicado no DOE de 29/09/95 - Dispõe sobre a "Prevenção e o controle da poluição do meio ambiente provocada por vazamento de combustíveis em postos de revenda".

Portaria nº 936/CEHAB. G, de 1995, publicado no DOE de 23/12/95 - Dispõe sobre a "Obrigatoriedade de execução de testes de estanqueidade anualmente em todos os tanques de abastecimento subterrâneos dos postos de serviço".

7. Apresentação de Resultados Localizados

Neste item são apresentados os resultados gerados pelos Relatórios Individuais modulares dos locais LO 022, NS 034 e MO 010. Estes locais foram escolhidos para ilustrar os resultados apresentados nos 75 relatórios gerados, por apresentarem peculiaridades em relação aos fatores considerados. O local relativo ao posto LO 022 apresenta grau de risco máximo. O local relativo ao posto NS 034 apresenta um grau de risco médio, apesar de apresentar baixo risco no condicionante geológico-hidrogeológico e o local relativo ao posto MO 010 apresenta um risco final alto apesar de apresentar médio risco geológico-hidrogeológico, como será exposto à seguir.

7.1 Relatório Individual Modular LO-022

7.1.1 Objeto

O objeto do presente trabalho é o relatório individual modular do Auto Posto Vila Azul Ltda, situado na R. Mário de Andrade, 524.

7.1.2 Objetivo

Seu objetivo é a análise e interpretação dos dados obtidos nos levantamentos dos itens referentes à dados operacionais do posto, geologia e geotecnia, hidrogeologia, interferências (águas pluviais, esgoto, tubulações, etc.), e aspectos construtivos de interesse das instalações do Metrô.

7.1.3 Metodologia

Os trabalhos foram realizados de um modo seqüencial, a partir do levantamento de dados referentes aos aspectos construtivos e características operacionais do posto. A seguir foi realizada uma análise dos dados geológico-geotécnicos e hidrogeológicos, a partir das sondagens SP-551 e SP-552, obtidas no acervo técnico do Metrô.

As análises de interferências foram feitas com base nos levantamentos cadastrais fornecidos pelo Metrô, e levantamentos de campo efetuados na área próxima ao posto.

Cada aspecto mencionado foi analisado e classificado de acordo com o grau de risco que representa individualmente. O cruzamento das análises configura o grau de risco do Posto em relação às instalações do Metrô. Na Figura 10 encontra-se a localização do Posto, em planta, com a direção e sentido estimado de fluxo de um provável vazamento e também a simulação, em seção, do comportamento vertical do produto decorrente do vazamento.

7.1.4 Resultados Obtidos e Avaliação Individual

O Auto Posto Vila Azul está situado à R. Mário de Andrade, 524, no bairro da Barra Funda. O posto dista cerca de 20 metros da linha do Metrô, que neste trecho é subterrânea.

7.1.4.1 Dados Operacionais

O proprietário deste posto não foi localizado apesar de várias visitas ao local e contatos telefônicos. Portanto, por medida de segurança este posto será considerado como sendo de alto risco (4) para as instalações do Metrô. Assim que forem obtidas as informações necessárias, este aspecto deverá ser reavaliado.

7.1.4.2 Geologia, Geotecnia e Hidrogeologia

O maciço sobre o qual se localiza o posto é constituído por sedimentos terciários da Formação São Paulo. Inicialmente ocorre uma camada de aterro de aproximadamente 3 metros de espessura, seguindo-se uma camada de argila arenosa com 2 metros de espessura e um nível de areia argilosa com espessura de 1 metro. Abaixo deste, ocorre uma camada de argila siltosa com espessura mínima de 19 metros. O nível d'água encontra-se a uma profundidade de cerca de 4 metros (cota 732,2 m), sendo que o topo do túnel está próximo à cota 727 m.

O maciço se apresenta relativamente heterogêneo e anisotrópico e a migração de um eventual vazamento de produto se daria verticalmente, através da zona não saturada. Como o material que constitui esta zona (aterro) apresenta características hidrogeológicas muito variáveis, não se pode estimar a velocidade de infiltração de um eventual vazamento de combustível. Contudo, pode-se afirmar com relativa segurança que esta velocidade é superior às velocidades normalmente encontradas na maioria dos sedimentos terciários da Formação São Paulo. Na zona saturada, o fluxo é horizontal e possui sentido predominante oeste. O gradiente hidráulico máximo estimado na direção de fluxo é da ordem de 0,15. Portanto, uma vez na zona saturada, o produto flutuaria sobre o lençol freático, constituindo assim a chamada fase livre da contaminação, que migraria conforme as condições naturais de fluxo local.

Segundo as condições mais críticas encontradas na zona saturada, (Condutividade Hidráulica = 10^{-4} cm/s; Porosidade Efetiva = 15% e Gradiente Hidráulico = 0,15) a velocidade máxima esperada para o contaminante seria 8,64 cm/dia.

O fluxo, a partir do momento que o vazamento atingir o nível d'água deve ter um sentido predominante oeste, ou seja, seguindo paralelamente à linha do Metrô situada a norte do posto.

Os túneis do Metrô mais próximos estão situados a cerca de 20 metros a norte do posto, a uma profundidade de cerca de 5 metros. Como o nível d'água local está situado a cerca de 4 metros de profundidade, é possível que se tenha um contato entre a superfície do nível d'água e a superfície do túnel, principalmente se levarmos em conta as variações sazonais do nível d'água. Este fato é de extrema importância, uma vez que o produto vazado acumula-se sobre o lençol freático e somente atingirá a parede do túnel nos casos em que esta estiver em contato direto com o nível d'água.

Outro aspecto que devemos considerar é o efeito provocado pela presença do túnel dentro do aquífero. De fato, este constitui um caminho preferencial para a percolação da água subterrânea, provocando um aumento local na condutividade hidráulica que pode ocasionar rebaixamentos no nível d'água capazes de defletir o fluxo em direção ao Metrô. Como o trecho do Metrô mais próximo ao posto está a cerca de 70 metros de distância, este efeito dificilmente seria capaz de alterar o gradiente próximo ao posto.

A predominância de aterro e de material arenoso na parte superior do aquífero reduz muito a capacidade de retenção do mesmo. Além disto, este material apresenta normalmente uma condutividade hidráulica mais elevada do que a encontrada nos sedimentos argilosos da Formação São Paulo, representando um aumento na velocidade de percolação da água subterrânea. A pequena distância entre o posto e os túneis (cerca de 20 metros) facilita ainda mais a chegada de um eventual vazamento aos túneis do Metrô.

Portanto, este posto enquadra-se numa situação de alto risco (4) em relação ao Metrô.

7.1.4.3 Interferências

Segundo levantamento efetuado, as principais interferências presentes na área são uma galeria de águas pluviais com diâmetro 0,80m e dutos da TELESP e ELETROPAULO. Estas interferências situam-se junto à calçada da rua Mário de Andrade e encontram-se próximas à superfície. Como o nível d'água local encontra-se a cerca de 4 metros, estas interferências podem ser atingidas em caso de vazamento, uma vez que estão situadas próximas à esta cota. Neste caso, é possível que haja uma redução no tempo entre o momento do vazamento e a chegada nos túneis, já que neste caso as interferências atuariam como drenos, conduzindo mais rapidamente a pluma de contaminação.

Portanto, as interferências podem contribuir para o aumento do risco deste posto em relação ao Metrô.

7.1.4.4 Aspectos Construtivos

Neste trecho o método construtivo empregado foi o de vala a céu aberto que envolveu, entre outras, as etapas de interdição do local, abertura da vala, escoramento, remoção do material, concretagem e reaterro. Em muitos locais, as estacas utilizadas na fase de construção foram removidas, e o seu espaço foi preenchido por outro material. Esta prática, dependendo das características do material de preenchimento, pode gerar dutos verticais, com alta condutividade hidráulica, capazes de levar o produto originado por um eventual vazamento diretamente aos túneis do Metrô, mesmo em condições geologicamente favoráveis à contenção deste vazamento. Portanto, quanto aos métodos construtivos, este local pode ser considerado de alto risco (4) para o Metrô.

7.1.5 Conclusões

A análise dos diversos parâmetros acima possibilita uma caracterização prévia da área das vias do Metrô próximas ao Auto Posto Vila Azul Ltda. O aspecto operacional foi considerado como de alto risco. Os aspectos construtivos do Metrô são bastante desfavoráveis em caso de vazamento.

Quanto aos aspectos geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos, a área apresenta características altamente desfavoráveis à contenção de um vazamento, principalmente pela presença de aterro, presença de camada arenosa e proximidade do posto em relação ao Metrô. Além disto, as interferências da área podem aumentar a velocidade da contaminação em direção ao Metrô.

7.1.6 Recomendações

De acordo com o resultado obtido na análise de risco deste posto, as medidas a serem tomadas são:

- Instalação de poços de monitoramento de aquífero freático em locais a interceptarem o fluxo definido.*
- Realização de medidas de nível d'água e de produto nos poços instalados ou já existentes no local, conforme descrito na Rotina de Monitoramento 4.1.*
- Inspeção dos túneis do Metrô próximos ao local do posto para identificação de possível aparecimento do produto no seu interior, conforme descrito na Rotina de Monitoramento 4.2.*
- Caso se confirme a presença de produto nos túneis, deve-se proceder a aplicação de mantas geotêxteis para a absorção do produto surgente, conforme especificado na Rotina de Monitoramento 4.3.*
- Vistoria das instalações do posto, com preenchimento do questionário específico, conforme descrito na Rotina de Monitoramento 4.4.*

7.1.7 Referências

São referências ainda para este relatório os seguintes documentos técnicos do Metrô::

- Cadastro de informações individuais, sondagens SP-551 e SP-552, desenhos DE 3.06.01.00/3C3-002 e DE 3.06.01.00/5D2-003.*

As Figura 11 e 12, ilustram a localização em planta e seções transversal e longitudinal, respectivamente.

➡ SENTIDO SIMULADO DE FLUXO DE VAZAMENTO

Figura 10 - Planta de Localização - Local LO 022 - sem escala

Figura 11 - Seção Transversal - Local LO 022

Figura 12 - Seção Longitudinal - Local LO 022

7.2 Relatório Individual Modular NS-034

7.2.1 Objeto

O objeto do presente trabalho é o relatório individual modular do Posto de Serviços Genebra.

7.2.2 Objetivo

Seu objetivo é a análise e interpretação dos dados obtidos nos levantamentos dos itens referentes aos dados operacionais do posto, geologia e geotecnia, hidrogeologia, interferências (águas pluviais, esgoto, tubulações, etc.), e aspectos construtivos de interesse dos túneis do Metrô.

7.2.3 Metodologia

Os trabalhos foram realizados de um modo seqüencial, a partir do levantamento de dados referentes aos aspectos construtivos e características operacionais dos postos, cujo cadastro de informações SISPO (Sistema de Gerenciamento de Postos de Combustíveis) encontra-se no Anexo 2. A seguir foi realizada uma análise dos dados geológico-geotécnicos e hidrogeológicos, a partir das sondagens SP-343 e SP-344.

A análise de interferências e dos métodos construtivos foi feita com base nos levantamentos cadastrais fornecidos pelo Metrô.

Cada aspecto mencionado foi analisado e classificado de acordo com o grau de risco que representa individualmente. O cruzamento das análises configura o grau de risco do Posto em relação aos túneis do Metrô. Na Figura 13 encontra-se a localização do posto, em planta, com a direção e sentido estimado de fluxo de um provável vazamento e também a simulação, em seção, do comportamento vertical do produto decorrente do vazamento.

7.2.4 Resultados Obtidos e Avaliação Individual

O Posto de Serviços Genebra está situado na r. Fagundes Filho, 145, no bairro da Saúde. Os túneis do Metrô mais próximos estão localizados a aproximadamente 100 metros segundo um rumo oeste, a uma profundidade de cerca de 6 metros.

7.2.4.1 Dados Operacionais

A ficha cadastral individual encontra-se no Anexo 2. A análise dos dados obtidos configura um grau de risco médio (3) para o referido posto. O gerente que forneceu as informações desconhece a idade dos tanques e também não sabe afirmar se já foi feito algum teste de estanqueidade. Como o posto opera a cerca de 27 anos, é possível que já haja tanques com a vida útil esgotada. O volume de produto nos tanques é aferido com sistema eletrônico TELEMED, diariamente.

A descarga selada efetuada no posto evita perdas de produto durante cada operação.

O óleo resultante da troca de óleo é guardado em tambores e posteriormente revendido à firmas especializadas. A água utilizada na lavagem de veículos é conduzida ao esgoto. As demais instalações do posto, inclusive o pavimento, encontram-se em bom estado.

7.2.4.2 Geologia, Geotecnia e Hidrogeologia

O maciço sobre o qual se encontra o posto apresenta uma camada de argila silto arenosa com consistência mole a média e espessura em torno de 12 metros, seguido de uma camada de argila siltosa com lentes arenosas e cerca de 9 metros de espessura. Logo abaixo, temos uma camada de areia argilosa com no mínimo 3 metros de espessura. O nível d'água está a aproximadamente 8 metros de profundidade, próximo à cota 795m.

O posto está situado a uma distância de aproximadamente 100 metros em relação ao túnel do metrô. O fluxo da água subterrânea segue um rumo leste, enquanto o túnel do Metrô está situado a oeste do posto e, portanto, a pluma de contaminação deve afastar-se dos túneis.

As características do maciço minimizariam um eventual vazamento. O pacote argiloso apresentado pelo maciço possui um alto coeficiente de retenção, alta consistência, e baixa permeabilidade, o que confere um alto tempo de contato entre o contaminante e o solo, favorecendo os fenômenos de sorção (adsorção em conjunto com absorção), biodegradação e filtração mecânica.

Em caso de vazamento, o produto migraria verticalmente pela zona não saturada, até atingir o aquífero, quando então teria um rumo leste. Assumindo-se as condições de fluxo mais críticas possíveis (Condutividade hidráulica máxima = 10^{-6} cm/s e Porosidade efetiva mínima = 5%), a percolação do produto por uma camada de argila silto arenosa em condições de saturação ocorreria a uma velocidade máxima de 1,73 cm/dia, o que confere um grande tempo de permanência do produto no solo, favorecendo a sorção do produto.

Na zona saturada, o fluxo é horizontal e possui sentido predominante oeste. O gradiente hidráulico máximo estimado na direção de fluxo é da ordem de 0,15. Portanto, uma vez na zona saturada, o produto flutuaria sobre o lençol freático, constituindo assim a chamada fase livre da contaminação, que migraria conforme as condições naturais de fluxo local. Segundo as condições mais críticas encontradas na zona saturada, (Condutividade Hidráulica = 10^{-6} cm/s; Porosidade Efetiva = 5% e Gradiente Hidráulico = 0,15) a velocidade máxima esperada para o contaminante seria 0,259 cm/dia. O nível d'água no local encontra-se aproximadamente entre as cotas da base e do topo do túnel e, portanto, em contato direto com este. Esta situação é bastante desfavorável pois permite o contato entre a fase livre de uma eventual pluma de contaminação e o túnel propriamente dito. O Posto está localizado a cerca de 100 metro das instalações do Metrô, numa área onde o fluxo da água subterrânea é praticamente oposto ao sentido dos túneis. Além disto, este fluxo é marcado por um gradiente hidráulico relativamente alto que dificilmente seria alterado pela presença de utilidades ou do próprio túnel. Este fato, associado à grande distância entre o posto e os túneis e às características favoráveis do maciço, reduzem significativamente o risco em caso de vazamento.

Portanto, do ponto de vista geológico e hidrogeológico, este posto pode ser enquadrado no grau de risco muito baixo (1) para o Metrô.

7.2.4.3 Interferências

Segundo o levantamento cadastral fornecido pelo Metrô, nesta área não ocorrem utilidades que possam interferir no fluxo de um eventual vazamento.

Portanto, este posto pode ser enquadrado no grau de risco muito baixo para as instalações do Metrô.

7.2.4.4 Aspectos Construtivos

Neste trecho o método construtivo empregado foi o de vala a céu aberto que envolveu, entre outras, as etapas de interdição do local, abertura da vala, escoramento, remoção do material, concretagem e reaterro. Em muitos locais, as estacas utilizadas na fase de construção foram removidas, e o seu espaço foi preenchido por outro material. Esta prática, dependendo das características do material de preenchimento, pode gerar dutos verticais, com alta condutividade hidráulica, capazes de levar o produto originado por um eventual vazamento diretamente aos túneis do Metrô, mesmo em condições geologicamente favoráveis à contenção deste vazamento.

Portanto, quanto aos métodos construtivos, este local pode ser considerado de alto risco (4) para o Metrô.

7.2.5 Conclusões

A análise dos parâmetros acima possibilita uma caracterização da área dos túneis próximos ao Posto de Serviços Genebra.

Os dados cadastrais do Posto configuram um risco médio de vazamento já que os tanques, embora com idade ignorada, são controlados eletronicamente.

Os aspectos construtivos do túnel no local (VCA) caracterizam um grau de risco elevado, pela remoção do solo e posterior reaterro.

Não há utilidades presentes na área que possam interferir no fluxo de um eventual vazamento.

Quanto aos aspectos geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos, a área apresenta características favoráveis à contenção de um vazamento.

7.2.6 Recomendações

De acordo com o resultado obtido na análise de risco deste posto, as medidas a serem tomadas são:

- Caso existam poços de observação já instalados no local, realizar medidas de nível d'água e de produto, conforme descrito na Rotina de Monitoramento nº 4.1.*
- Inspeção dos túneis do Metrô próximos ao local do posto para identificação de possível aparecimento do produto no seu interior, conforme descrito na Rotina de Monitoramento nº 4.2.*
- Caso se confirme a presença de produto nos túneis, deve-se proceder a aplicação de mantas geotêxteis para a absorção do produto surgente, conforme especificado na Rotina de Monitoramento nº 4.3.*
- Vistoria das instalações do posto, com preenchimento do questionário específico, conforme descrito na Rotina de Monitoramento nº 4.4.*

7.2.7 Referências

São referências ainda para este relatório os seguintes documentos técnicos do Metrô::

- Cadastro de informações individuais, sondagens SP-328 e SP-329 (documentos do acervo técnico do Metrô), desenhos 400-C/083, 084-D/001 e 085-J/201 (documentos do acervo técnico do Metrô)*

A Figura 13, Figura 14 e Figura 15 ilustram a localização em planta e seções transversal e longitudinal, respectivamente

➡ SENTIDO SIMULADO DE FLUXO DE VAZAMENTO

Figura 13 - Planta de Localização - Local NS 034 - sem escala

Figura 14 - Seção Transversal - Local NS 034

Figura 15 - Seção Longitudinal- Local NS 034

7.3 Relatório Individual Modular MO-010

7.3.1 Objeto

O objeto do presente relatório é o relatório individual modular do Auto Posto Cardeal, situado na Avenida Doutor Arnaldo nº 953, esquina com a Rua Silvio Sacramento.

7.3.2 Objetivo

Seu objetivo é a análise e interpretação dos dados obtidos nos levantamentos dos itens referentes à dados operacionais do posto, geologia e geotecnia, hidrogeologia, interferências (águas pluviais, esgoto, tubulações, etc.), e aspectos construtivos de interesse dos túneis do Metrô.

7.3.3 Metodologia

Os trabalhos foram realizados de um modo seqüencial, a partir do levantamento de dados referentes aos aspectos construtivos e características operacionais dos postos, cujo cadastro de informações encontra-se no Anexo 2. A seguir foi realizada uma análise dos dados geológico-geotécnicos e hidrogeológicos, a partir do desenho DE-2.06.00.00/6C3-002 - "Perfil Geotécnico - Planta de Situação".

Seguiram-se a análise de interferências a partir de levantamentos de campo e da análise do desenho DE-2.06.02.00/5D2-002 e das características do método construtivo empregado no local, através do documento "Linha Vila Prudente Vila Madalena - Obra do Trecho Paulista".

Cada aspecto mencionado foi analisado e classificado de acordo com o grau de risco que representa individualmente. O cruzamento das análises configura o grau de risco do Posto em relação aos túneis do Metrô. Na Figura 16. encontra-se a localização do Posto, em planta, com a direção e sentido estimado de fluxo de um provável vazamento e também a simulação, em seção, do comportamento vertical do produto decorrente do vazamento.

7.3.4 Resultados Obtidos e Avaliação Individual

O Auto Posto Cardeal está situado à av. Dr. Arnaldo, 953, no bairro do Sumaré. Os túneis do metrô distam cerca de 20 metros do posto, segundo um rumo norte-noroeste e estão a uma profundidade de cerca de 10,5 metros.

7.3.4.1 Dados Operacionais

A análise dos dados obtidos de acordo com a ficha cadastral deste posto configuram um grau de risco alto (4) para o referido posto. O principal fator determinante é a idade dos tanques ignorada pelo proprietário, não tendo ocorrido troca de tanques desde a aquisição do posto, ocorrida à 18 anos; Portanto, os tanques encontram-se com sua vida útil (15 anos) já esgotada. Além disto, a descarga normal efetuada no posto está sujeita a pequenos vazamentos. O volume de produto nos tanques é aferido diariamente pelo sistema eletrônico TELEMED. O último teste de estanqueidade foi feito em 04/92 (informação obtida no primeiro semestre de 95), devido a uma reclamação do próprio Metrô, não tendo sido constatado nenhum vazamento nos tanques ou linhas.

7.3.4.2 Geologia, Geotecnia e Hidrogeologia

O maciço sobreposto à área do referido posto apresenta uma camada de aterro de aproximadamente 1,5 metros, seguindo-se um pacote de argila siltosa arenosa vermelha com consistência média a rija, seguido de uma camada de argila siltosa arenosa vermelha, rija a dura, onde encontra-se o túnel do Metrô. A partir de 19 m (cota 796,5 m aproximadamente) ocorre uma camada de argila siltosa arenosa variegada, rija a dura.

O nível d'água no local encontra-se à aproximadamente 18,50 metros (cota 797 m), sendo que o topo do túnel está na cota 805 m aproximadamente.

O maciço se apresenta heterogêneo e anisotrópico. Contudo, a migração de um eventual vazamento de produto se daria verticalmente, através da zona não saturada.

Nas condições mais críticas, foram assumidos os seguintes dados: Para a camada argilosa superior, Porosidade Efetiva mínima (n_{ef}) = 10%, Condutividade Hidráulica máxima (K) = 10^{-6} cm/s, gradiente = 1 (vertical). E para as camadas argilosas inferiores, de consistência rija a dura, Porosidade Efetiva mínima (n_{ef}) = 5%, Condutividade Hidráulica máxima (K) = 10^{-7} cm/s, gradiente = 1 (vertical). Considerando-se que um vazamento provocaria uma saturação do solo imediatamente abaixo do ponto de vazamento (também uma condição crítica), a velocidade estimada para o fluxo descendente seria de 0,864 cm/dia na camada superior de consistência média a rija e 0,173 cm/dia nas camadas inferiores, de consistência rija a dura.

O sentido de fluxo subterrâneo natural é sul - sudeste, praticamente oposto ao sentido do túnel do Metrô. Desta forma, quando o contaminante atinge o nível freático, passa a fluir segundo o fluxo natural, distanciando-se da obra. Contudo, a presença de um duto de ventilação que avança pela rua Silvio Sacramento conforme seção esquemática anexa, pode provocar alterações no fluxo local, gerando um rebaixamento capaz de confinar o produto oriundo de um eventual vazamento. Este duto está instalado muito próximo à área do posto (vide Figura 16), representando uma estrutura de grande importância no contexto de um vazamento de combustível.

Na zona não saturada, o duto atuaria como um caminho preferencial de percolação, aumentando bastante a velocidade de migração vertical do produto e conseqüentemente diminuindo o tempo necessário para a contaminação atingir o lençol freático. A base do duto encontra-se abaixo do nível do lençol freático local, gerando uma zona de condutividade hidráulica mais alta, aumentando a velocidade de fluxo e provocando um rebaixamento local do nível d'água. Este rebaixamento pode provocar uma inversão local do fluxo subterrâneo e, neste caso, ocorreria um acúmulo de produto junto ao túnel do metrô, gerando uma situação de alto risco. Portanto, do ponto de vista geológico, geotécnico e hidrogeológico, este posto configura um risco médio (3) para os túneis do Metrô, em caso de vazamento.

7.3.4.3 Interferências

As principais interferências observadas a partir da análise do desenho DE-2.06.02.00/5D2-002 são uma linha da SABESP a que passa ao longo da Av. Dr. Arnaldo e uma linha de águas pluviais, localizada paralelamente a Av. Dr. Arnaldo, no seu canteiro central, a uma profundidade máxima de 1,5 m.

Estas interferências estão situadas acima da cota da base dos tanques de armazenamento subterrâneo e, portanto, não são importantes no caso de um eventual vazamento de produto, configurando um risco muito baixo para as linhas do Metrô.

7.3.4.4 Aspectos Construtivos

O posto está localizado próximo a estacionamento de trens situado entre as estações Clínicas e Sumaré. Este trecho foi construído com a utilização do processo "NATM".

O projeto do estacionamento entre as estações Clínicas e Sumaré foi concebido como uma grande cavidade, a ser executada em "NATM", formada de dois túneis geminados. Cada um dos túneis comporta duas vias permanentes. O projeto adotado, considerando-se a excepcional qualidade geotécnica do maciço para aplicação do "NATM", inclui

:- escavação da abóbada no túnel 1

.- escavação de um rebaixo intermediário no túnel 1.

- execução do septo entre os dois túneis, seguida de certa distância pela escavação da abóbada do túnel 2.

- escavação do rebaixo para invert dos dois túneis.

- concretagem do invert dos dois túneis.

- concretagem da abóbada dos dois túneis.

Na construção do túnel de ventilação da Rua Silvio Sacramento foram feitos dois túneis superpostos da cavidade em direção ao centro da Av. Dr. Amaldo. O túnel mais alto foi revestido em chapas corrugadas ARMCO ("tunnel liners"), a exemplo de outros pequenos túneis neste trecho, enquanto que o inferior foi executado em "NATM" da forma habitual.

A existência deste duto adjacente à área do posto representa uma situação de alto risco (4) para as instalações do Metrô uma vez que, em caso de vazamento de combustível no Auto Posto Cardeal, a probabilidade de que este duto seja atingido é muito elevada.

7.3.5 Conclusões

A análise dos parâmetros acima possibilita uma caracterização clara e segura da área dos túneis e do estacionamento de trens, próximos ao Auto Posto Cardeal, na Av. Dr. Amaldo.

Os dados cadastrais do Posto configuram um grau alto de possibilidade de vazamento, principalmente devido à idade avançada de seus tanques.

As interferências existentes na área são basicamente sub-aflorantes, acima da cota inferior dos tanques de armazenamento.

Os aspectos construtivos do túnel ("NATM") não são desfavoráveis, uma vez que o revestimento é seqüencial à escavação.

Contudo, a presença do duto de ventilação, cuja abertura encontra-se adjacente à área do posto, representa um fator potencialmente de alto risco em caso de vazamento de combustível no referido posto.

Quanto aos aspectos geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos, apesar da proximidade do posto em relação a linha do Metrô, a área se mostra bastante favorável à contenção de um eventual vazamento de produto por apresentar baixa condutividade hidráulica e alto coeficiente de retenção.

Em caso de vazamento, o produto migraria verticalmente pela zona não saturada, até atingir o aquífero, quando então teria um rumo sul - sudoeste, que é oposto ao sentido do túnel em relação ao posto. Contudo, a presença do duto de ventilação pode provocar alterações nesta direção de fluxo, conforme já foi explicado e, portanto esta área é considerada de alto risco.

As velocidades máximas de percolação estimadas no item referente à hidrogeologia podem ser significativamente aumentadas caso a contaminação alcance o duto de ventilação.

O risco final ponderado para este local foi definido como 3,4.

7.3.6 . Recomendações

De acordo com o resultado obtido na análise de risco deste posto, as medidas a serem tomadas são:

- Caso existam poços de observação ou piezômetros já instalados no local, realizar medidas de nível d'água e de produto, conforme descrito na Rotina de Monitoramento nº 4.1.*
- Inspeção dos túneis do Metrô próximos ao local do posto para identificação de possível aparecimento do produto no seu interior, conforme descrito na Rotina de Monitoramento nº 4.2.*
- Caso se confirme a presença de produto nos túneis, deve-se proceder a aplicação de mantas geotêxteis para a absorção do produto surgente, conforme especificado na Rotina de Monitoramento nº 4.3.*
- Vistoria das instalações do posto, com preenchimento do questionário específico, conforme descrito na Rotina de Monitoramento nº 4.4*

7.3.7 Referências

São referências ainda para este relatório os seguintes documentos do acervo técnico do Metrô:

- Cadastro de informações individuais*
- Perfil Geotécnico e Planta de Situação DE 2.06.00.00/6C3-002*
- Desenho DE-2.06.02.00/5D2-002 -interferências*
- Documento Técnico "Linha Vila Prudente - Vila Madalena Obra do Trecho Paulista".*

A Figura 16, Figura 17 e Figura 18 ilustram a localização em planta, seção transversal e longitudinal, respectivamente.

Figura 16 - Planta de Localização - Local MO-010 - sem escala

Figura 17 - Seção Transversal - Local MO-010

Figura 18 - Seção Longitudinal - Local MO-010

8. Conclusões e Recomendações

Dentre o escopo os estudos, ou seja, 75 locais cadastrados, se considerarmos a seguinte faixa de Risco Final, conforme definida na frequência de aplicação das rotinas de procedimento, teremos a seguinte situação estatística de risco, conforme ilustrado na Tabela 11, abaixo

Tabela 11 - Situação Estatística de Risco para o Metrô

RISCO	Linha Madalena-Oratório	Linha Leste-Oeste	Linha Norte-Sul
<i>baixo (< 1,5)</i>	13,36 % (2 locais)	45,5 % (10 locais)	23,7% (9 locais)
<i>médio(1,5<risco< 2,5)</i>	33,3 % (5 locais)	9,0 % (2 locais)	15,8 % (6 locais)
<i>alto (> 2,5)</i>	53,3 % (8 locais)	45,5 % (10 locais)	60,5 % (23 locais)

Ainda, se considerarmos o traçado total do Metrô, independente do trecho, teríamos 54,6% de locais com alto risco, contra 28 % de locais com baixo risco e 17,4% de locais apresentando médio risco, configurando uma situação que denota preocupação. No entanto, dentre os 41 locais indicados como de alto risco, 31 apresentam valores atribuído aos dados operacionais dos Postos, acima de 3, inclusive.

Partindo-se do princípio que os dados operacionais são os mais facilmente gerenciados, através da adoção de medidas corretivas relativas aos itens listados no Anexo 2 (Sistema de Gerenciamento de Postos de Combustíveis - Cadastro de Informações Individuais), essa porcentagem pode cair significativamente, um vez que, conforme citado no item 1 - Introdução -, o conceito fundamental de avaliação de risco está baseado em três componentes essenciais: fonte, vetor e receptor. Desta forma, a prevenção do risco estaria sendo feita diretamente na fonte.

No aspecto relativo às interferências, é imprescindível a comunicação entre os gerenciadores do banco de dados e as concessionárias, estabelecendo uma rotina de monitoramento preventivo, através de vistorias regulares e medições de níveis de explosividade ou presença de vapores orgânicos.

No tocante às características físicas naturais do maciço (características geohidrogeológicas), que são preponderantes na classificação do risco final, não há operação física que possa mitigar os efeitos negativos detectados.

Portanto, a instalação de piezômetros e seu frequente monitoramento, conforme a aplicação da rotina de procedimento 5.1, se configura como a medida mais eficaz.

Nos aspectos construtivos, toda a problemática está relacionada ao tipo de impermeabilização utilizado, ou seja, aplicação de feltro e betume.

Alguns estudos da época de concepção do projeto (Consórcio Hochtief Montreal Deconsult - Pré-Projeto de Engenharia, 1962), citavam a possibilidade de utilização de mantas plásticas em substituição ao betume.

Isso poderia ser aplicado nos locais em construção ou ainda em previsão de projeto.

De qualquer forma, deve haver uma completa integração entre os envolvidos, no caso, Postos de Serviço, Cias. Distribuidoras e Cia. do Metropolitano, uma vez que a comunicação é um pressuposto de qualquer análise de risco, em função dos diversos aspectos envolvidos.

O gerenciamento do problema deve ser integrado, uma vez que são necessários os três componentes - fonte, vetor e receptor - para que haja risco. Deste modo, a proposta de geração de um banco de dados integrando todos os aspectos analisados e continua manutenção deste banco se configura uma ótima ferramenta de prevenção.

9. Referências Bibliográficas

- ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (1980)** - Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo. Mesa Redonda. Publicação Especial, São Paulo, 45 pp.
- ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (1981)** - Ensaio de Permeabilidade em Solos, Boletim nº 04, São Paulo, SP.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NB 190 (1996)** - Fabricação e Instalação de Tanques Subterrâneos para Postos de Serviço de Distribuição de Combustíveis Líquidos.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NB 98 (1996)** - Armazenamento e Manuseio de Líquidos Inflamáveis e Combustíveis.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 7505 (1995)** - Armazenamento de Petróleo e seus Derivados Líquidos e Álcool Carburante.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 13312 (1997)** - Construção de Tanque Atmosférico Subterrâneo em Aço-Carbono.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 13781 (1997)** - Instalação de Tanque Atmosférico Subterrâneo em Posto de Serviço.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 13782 (1997)** - Sistema de Proteção Externa para Tanque Atmosférico Subterrâneo em Aço Carbono e suas Tubulações, para Postos de Serviços.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 13783 (1997)** - Instalação Hidráulica de Tanque Atmosférico Subterrâneo em Aço-Carbono, em Postos de Serviço.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 13784 (1997)** - Detecção de Vazamentos em Postos de Serviço.

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 13785 (1997) -** *Construção de Tanque Atmosférico Subterrâneo em Aço-Carbono ou Não Metálico de parede Dupla, em Postos de Serviço.*
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 13786 (1997) -** *Seleção de Equipamentos e Sistemas para Instalações Subterrâneas de Combustíveis em Postos de Serviços.*
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 13787 (1997) -** *Controle de Estoque nos Sistemas de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis em Postos de Serviços.*
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 13788 (1997) -** *Proteção Catódica nos Sistemas de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis em Postos de Serviços.*
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 13212 (1997) -** *Tanque Subterrâneo de resina Termofixa Reforçada com Fibras de Vidro para Armazenamento de Combustíveis Líquidos.*
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 13220 (1997) -** *Manuseio e Instalação de tanques Subterrâneos de Resina Reforçada com Fibras de Vidro para Armazenamento de Combustíveis Líquidos.*
- API - American Petroleum Institute - (1989) -** *A Guide to the Assessment and Remediation of Underground Petroleum Releases, API. Publication 162. Second Edition, Washington, DC.*
- API - American Petroleum Institute - (1994) -** *Decision Support System for Exposure and Risk Assessment (DSS), API. Version 1.0. Health and Environmental Sciences Department, Washington, DC.*
- BAEDECKER, M.J. (1985)** *Defining Extent of Contamination Using Onsite Analytical Methods. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water. p. 265*

- BARKER, J.F.; PATRICK, G.C.; MAJOR, D. (1987)** *Natural Attenuation of Aromatic Hydrocarbons in a Shallow Sand Aquifer*. Groundwater Monitoring Review, p. 64-71.
- BLAKE, G.R. (1965)** *Particle density*. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of Soil Analysis*. Madison, American Society of Agronomy, pt. 1, p. 371-3.(Agronomy,9).
- BENSON, R.C.; GACCUM, R.A. (1979)** *Radar Surveys for Geotechnical Site Assesment*. *Geophysical Methods in Geotechnical Engineering*, Specialty Session, Am. Soc. Civ. Eng., Atlanta, Georgia. pp. 162-178.
- BISQUE, R. (1984)** *Migration Rates of Volatiles from Hydrocarbon Sources Trough Soil*. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water. p. 267
- CETESB (1988)** *Construção de Poços de Monitoramento do Aquífero Freático*. Norma 06.010
- CÓDIGO DE EDIFICAÇÕES DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO (1975)** Lei 8.266 de 20 de junho de 1975, alterada pela Lei 10.169 de 20 de outubro de 1986
- CLEARY, R.W. (1991)** *Qualidade da Água Subterrânea*. Capítulo 3 de Hidrologia Ambiental, vol. III, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, Brasil, Editora da UFRJ, 411 pp.
- CONSÓRCIO HOCHTIEF MONTREAL DECONSULT (1962)** *Sistema Integrado de Transporte Rápido Coletivo da Cidade de São Paulo - Estudo Técnico*. Pré-Projeto de Engenharia. 2v.
- COUTINHO, J.M.V. (1980)** *Mapa Geológico da Grande São Paulo*. EMPLASA.
- COUTINHO, J.M.V. (1989)** *Alguns Aspectos Sedimentológicos e tectônicos na Área da Bacia de São Paulo*. In: Workshop - Geologia da Bacia de São Paulo, São Paulo. Publicação Especial. São Paulo. IGC-USP/SBG, p. 12-15.

COUTINHO, J.M.V. (1980) *Relações litológicas e Estruturais da Bacia de São Paulo com o Pré-Cambriano Vizinho*. In: Mesa Redonda - Aspectos Geológicos e Geotectônicos da Bacia Sedimentar de São Paulo, São Paulo. Publicação Especial. São Paulo, ABGE/SBG, p.15-23.

CROW, W.L.; ANDERSON, E.P.; MINUGH, E.M. (1987) *Subsurface Venting of Vapors Emanating from Hydrocarbon Product on Ground Water*. Groundwater Monitoring Review, p. 51-57.

DAUGHERTY, S.J ( ) *The California Leaking Underground Fuel Tank Field Manual: A Guidance Document for Assessment of Underground Fuel Tanks*. In: CALABRESE, E.J. Petroleum Contaminated Soils (v.2) - Remediation Techniques, Environmental Fate, Risk Assessment, Analytical Methodologies.

DENAHAN, B. e MCCARTHY, M. (1987) *An Evaluation of Technologies for the Remote Detection of Hydrocarbon Contamination in the Subsurface*. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water.

DUARTE, U; OLIVEIRA, E. (1994) - *Recursos Hídricos*. in: Magalhães, L. E. (1994) *A Questão Ambiental*. 1ª ed.- São Paulo. 345 pp.

EE, J. J. van (1986) *New Approaches to the Evaluation of Leak Detection Monitors for Underground Storage Tanks*. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water. p 3

EL-ZOOBI, M.A.; RUCH, G.E.; GROVES, F.R. (1990) *Effect of Cosolvents on Hydrocarbon Partition Coefficients for Hydrocarbon Mixtures and Water*. Environmental Science and Technology, vol. 24 no.9, p. 1332-1338.

EMPLASA (1980) *Carta Geológica da Região Metropolitana da Grande São Paulo* - escala 1:100.000. 1ª edição, São Paulo

FETTER, C.W. JR. (1988) *Applied Hydrogeology*. Charles E. Merrill Publishing CO., Columbus, Ohio. 592 pp.

- FLUGEVAND, P. F. et al (1990)** *Preventing Leaks from Concrete Underground Storage Tanks: A Case History*. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water. p 555
- FOLKES, D. J. et al (1987)** *Detection and Delineation of a Fuel Oil Plume in a Layered Bedrock Deposit*. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water. p 279
- FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. (1979)** *Groundwater*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall Inc., 604 pp.
- HANBY, J. D. (1988)** *A New Method for the Detection and Measurement of Aromatic Compounds in Water*. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water. p 47
- HECK, D. H. (1989)** *Case Study of a Proactive Program to Prevent Leaks from Underground Storage Tanks*. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water. p 11
- HIRATA, R.C.A. (1990)** *Amostradores de Vapores do Solo (AVS): O desenvolvimento de uma técnica para detecção de água subterrânea contaminada por solventes orgânicos voláteis. O estudo de caso de Porto Feliz (SP)*. São Paulo, 1v. (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 170 pp.
- HVORSLEV, M.J. (1951)** *Time Lag and Soil Permeability in Groundwater Observations*. Bulletin no. 36. Waterways Experiment Station Corps of Engineers. U.S. Army, Vicksburg, Miss, 50 pp.
- KOLESNIKOVAS, C. (1989)** *Relatório Técnico do Trecho Itaquera-Guaianazes*. São Paulo; THEMAG Engenharia. 12 p.
- KREAMER, D.K.; STETZENBACH, K.J. (1990)** *Development of a Standard, Pure-Compound Base Gasoline Mixture for Use as a Reference-* in : Field and Laboratory Experiments. Groundwater Monitoring Review, p. 135-145.

KRUMENACHER, M. S. e TAYLOR R. W. (1988) *Innovative Application of Induced Polarization for Detecting Organic Ground Water Contamination*. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water. p 75

LEI 8266 de 1975, Código de Edificações do Município de São Paulo

LEI 997 de 1976, aprovada pelo Decreto 8468, que dispõe sobre o "Controle da poluição do meio-ambiente".

LITHERLAND, S. T. (1985) *A New Ground Water Tool: The Combined Cone Penetrometer/Vadose Zone Vapor Probe*. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water. p 322

MENDES, J.M.B. (1987) *Técnicas Geofísicas Aplicadas ao Mapeamento e Monitoramento de Poluição e Contaminação de Águas Subterrâneas*. São Paulo, 1v. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 196 p.

MILLER, D.W. e MAGNUSON, P.L. (1986) *Investigating Underground Storage Spills - A case history*. Geraghty & Miller, Inc. New York.

MOREAU, M. (1985) *A Regulator's Perspective on Prevention of Leaks from Underground Storage Systems*. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water.

MOREAU, M. (1986) *Some European Perspectives on Prevention of Leaks from Underground Petroleum Storage Systems*. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water.

MOREAU, M. (1987) *A Comparison of some American and European Leak Prevention Techniques for Underground Petroleum Storage Tanks*. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water.

- OLIVEIRA, E.; CLEARY, R.W.; CUNHA, R.C.A.; PACHECO, A. (1990)** *Gasoline Hydrocarbons Groundwater Pollution Potential in Metropolitan São Paulo*. Proceedings of International Seminar of Pollution, Protection and Control of Ground Water, IAWPRC-ABAS, Porto Alegre, RS.
- OLIVEIRA, E. (1992)** *Contaminação de Aqüíferos por Hidrocarbonetos Provenientes de vazamentos de Tanques de Armazenamento Subterrâneo*. São Paulo (Dissertação - Mestrado) - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 112 pp.
- OLIVEIRA, E. (1997)** *Ethanol Flushing of Gasoline Residuals - Microscale and Field Scale Experiments*. Waterloo. Ontario, Canada. (Tese - Doutorado) - Waterloo Centre of Groundwater Research, University of Waterloo, 291 p.
- PROJETO DE LEI (PL) nº 735, de 1995, publicado no DOE de 29/09/95** - Dispõe sobre a Prevenção e o controle da poluição do meio ambiente provocada por vazamento de combustíveis em postos de revenda.
- PORTARIA nº 936/CEHAB.G, de 1995, publicado no DOE de 23/12/95** - Dispõe sobre a Obrigatoriedade de execução de testes de estanqueidade anualmente em todos os tanques de abastecimento subterrâneos dos postos de serviço.
- PREDPALL, D.F. et al (1984)** *An Underground Tank Spill Prevention Program*. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water. p 17
- ROSS, L. e ELTON, R. (1984)** *Maximizing the Statistical Performance of Ground Water Monitoring Systems*. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water. p 224
- THOMPSON, G. e EVANS, O.D (1987)** *Tracer Leak Detection and Monitoring for Underground Storage Tanks*. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency (1986)** *Ground Water Monitoring Technical Enforcement Guidance Document*. (TEDG - RCRA)

USEPA - United States Environmental Protection Agency (1985) *Chemical, Physical and Biological Properties of Compounds Present at Hazardous Waste Sites*. Office of Waste Programs Enforcement Guidance Document, Washington, DC.

USEPA - United States Environmental Protection Agency (1986) *Superfund Public Health Evaluation Manual*. EPA report EPA 540/1-85-060. Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C.. 175p.

USEPA - United States Environmental Protection Agency (1986) *Ground Water Handbook* (EPA/625/6-87/016).

USEPA - United States Environmental Protection Agency (1986) *Test Methods for Evaluating Solid Waste* (SW-846), vol. 1A

USEPA - United States Environmental Protection Agency (1991) *Earth Effects Assessment Summary Tables*. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC.

WALTHER, E. G. (1986) *A Strategy for Detecting Subsurface Organic Contaminants*. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Groundwater. p 357.

WALTON, W.C. (1962) *Selected Analytical Methods for Well and Aquifer Evaluation*. Illinois State Water Surv. Bull. 49, 81 p.

WICKRAMANAYAKE, G.B. et al (1990) *Evaluation of Liquid and Vapor Monitoring Devices for Underground Storage Tank Detection*. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water.

WITTMANN, S. C. et al (1985) *Use of Soil Gas Sampling Techniques for Assessment of Ground Water Contamination*. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water. p 291

YOUNG, T. (1990) *Test Procedures for Evaluating the Performance of Underground Storage Tank Leak Detection Methods*. Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water. p 3

ANEXO 1

NOMENCLATURA UTILIZADA PARA CADASTRAMENTO DOS POSTOS

RELAÇÃO DE POSTOS - LINHA NORTE-SUL			
SIGLA	NOME DO POSTO	ENDEREÇO	ESTAÇÃO PRÓXIMA
NS001	AP Naccarato	R. Dr. Zuquim, 1270	Santana
NS002	Rede 90	R. Cons. Saraiva, 440	Santana
NS003	AP Favorito	Av. Cruzeiro do Sul, 3449	Santana
NS004	* posto desativado*	Av. Cruzeiro do Sul, 2897	Carandiru
NS005	AP Metro Norte	Av. Cruzeiro do Sul, 2433	Carandiru
NS006	AP Fusa	Av. Cruzeiro do Sul, 2363	Carandiru
NS007	AP Favorito	Av. Cruzeiro do Sul, 2025	Tietê
NS008	AP Guapore	R. Guapore, 464	Armênia
NS009	AP Santa Lucia	Av. Tiradentes, 1275	Armênia
NS010	AP Touring	Av. Santos Dumont, 435	Armênia
NS011	AP SS Tiradentes	R. Jorge Velho, 31	Armênia
NS012	AP Danymar	Av. Prestes Maia, 656	Luz
NS013	AP Telma	Av. Liberdade, 774	São Joaquim
NS014	AP Alvicar	R. Vergueiro, 279	São Joaquim
NS015	AP Beiriz	R. Vergueiro, 1003	Vergueiro
NS016	Vide Mo016	Vide Mo016	Paraíso
NS017	Vide Mo017	Vide Mo017	Paraíso
NS018	Servicentro Esso	R. Domingos de Moraes, 853	Ana Rosa
NS019	AP Monterrey	R. Carlos Petit, 36	Ana Rosa
NS020	AP Lavabem	R. Dom. de Moraes, 1191	Ana Rosa
NS021	AP Malibu	R. Vergueiro, 1909	Ana Rosa
NS022	AP Montana	R. Vergueiro, 2962	Ana Rosa
NS023	Posto Santa Paula	R. Dom. de Moraes, 1555	Vila Mariana
NS024	AP Sena Madureira	R. Dom. de Moraes, 1920	Vila Mariana
NS025	AP Metro Car	R. Dom. de Moraes, 2136	Vila Mariana
NS026	Mataripe	Av. Jabaquara, 54	Santa Cruz
NS027	AP Orissanga	Av. Jabaquara, 603	Pça da Árvore
NS028	AP Lobo	Av. Jabaquara, 1030	Pça da Árvore
NS029	AP Jet Set	Av. Jabaquara, 1169	Pça da Árvore
NS030	AP Sepetiba	R. Carneiro da Cunha, 151	Pça da Árvore
NS031	AP Dois Amigos	Av. Jabaquara, 1724	Saúde
NS032	PS Popular	Av. Jabaquara, 1966	Saúde
NS033	AP Guarim	Av. Jabaquara, 2113	Saúde
NS034	PS Genebra	R. Fagundes Filho, 145	São Judas
NS035	AP Menfis	Av. Eng. Arm. A. Pereira, 1646	Jabaquara
NS036	AP Del Rey	Av. Eng. Arm. A. Pereira, 1888	Jabaquara
NS037	AP Chekiang	Av. Eng. Arm. A. Pereira, 2676	Jabaquara
NS038	PS Diadema	Av. Eng. Armando A. Pereira,	Jabaquara

RELAÇÃO DE POSTOS - LINHA LESTE-OESTE			
SIGLA	NOME DO POSTO	ENDEREÇO	ESTAÇÃO PRÓXIMA
LO001	AP Santos e Santos	Av. Cachoeira Paulista, 7A	Patriarca
LO002	AP Napoleão	R. Joaquim Marra, 770	Vila Matilde
LO003	AP Radial	R. Conde de Frontin, 2544	Vila Matilde
LO004	AP Sesquicentenário	R. Catingua, 657	Tatuapé
LO005	AP Luz da Radial	Av. Álvaro Ramos, 657	Belem
LO006	AP Tupi	Av. Álvaro Ramos, 491	Belem
LO007	AP Unibel	R. Silva Jardim, 383	Belem
LO008	PS Leste-Oeste	R. Pires do Rio, 338	Bresser
LO009	AP Hipódromo	R. Ipanema, 494	Bresser
LO010	AP BC	R. Rangel Pestana, 944	Pedro II
LO011	Ben Si Kang	Av. Amaral Gurgel, 80	Santa Cecília
LO012	AP Rip Arouche	R. Rego Freitas, 47	Santa Cecília
LO013	AP Santa Cecília	Av. Prof. Frederico Streidel, 58	Santa Cecília
LO014	AP São João	Av. São João, 1600	Santa Cecília
LO015	AP Marechal	Av. São João, 2167	Marechal Deodoro
LO016	AP Sistema	Av. Angélica, 197	Marechal Deodoro
LO017	AP. J. Wilson Besignano	Av. Gen. Olimpio da Silveira, 105	Marechal Deodoro
LO018	AP General	Av. Gen. Olimpio da Silveira, 309	Marechal Deodoro
LO019	AP San Martin	Av. Gen. Olimpio da Silveira, 324	Marechal Deodoro
LO020	P Reunidos Gero	Av. Pacaembu, 469	Barra Funda
LO021	P. Reunidos Gero	R. Lavradio, 160	Barra Funda
LO022	AP Vila Azul	R. Mario de Andrade, 524	Barra Funda

RELAÇÃO DE POSTOS - LINHA MADALENA - ORATÓRIO			
SIGLA	NOME DO POSTO	ENDEREÇO	ESTAÇÃO PRÓXIMA
MO 001	AP Sumarezinho	Av. Heitor Penteado, 1724	Vila Madalena
MO 002	AP Nobre	Av. Heitor Penteado, 1645	Vila Madalena
MO 003	AP Simonetta	Av. Heitor Penteado, 1529	Vila Madalena
MO 004	PS Dinâmico	Av. Heitor Penteado, 1388	Vila Madalena
MO 005	AP Superpontes	Av. Pompéia x R. Valdir Niemayer	Vila Madalena
MO 006	AP Heitor Penteado	Av. Heitor Penteado, 1148	Vila Madalena
MO 007	AP J. Bandeiras	Av. Heitor Penteado, 920	Vila Madalena
MO 008	Jardins PS	Av. Heitor Penteado, 286	Sumaré
MO 009	AP Madalena	Av. Dr. Arnaldo, 1611	Sumaré
MO 010	AP Cardeal	Av. Dr. Arnaldo, 953	Clínicas
MO 011	Posto Belas Artes	Av. Consolação, 2367	Consolação
MO 012	Posto Pamplona	R. Pamplona, 670	Trianon
MO 013	PS Av. Paulista	Av. Paulista x Av. Brig. Luiz Antônio	Brigadeiro
MO 014	AP Taruma	R. do Paraíso, 120	Paraíso
MO 015	AP Guanabara	R. Bernardino de Campos, 228	Paraíso
MO 016	R. Três Auto Posto	R. Vergueiro, 1648	Paraíso
MO 017	C. Autom. Paraíso	R. Vergueiro, 1694	Paraíso

ANEXO 2

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

CADASTRO DE INFORMAÇÕES INDIVIDUAIS

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO

METRÔ

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS
Cadastro de Informações Individuais

RAZÃO SOCIAL DO POSTO: _____

NOME FANTASIA: _____

Estação mais próxima: _____

DISTRIBUIDORA: _____

Telefone do Representante: _____

ENDEREÇO: Rua/Av. _____

Bairro: _____

CEP: _____

Telefone (posto): _____

Telefone (sede): _____

PROPRIETÁRIO (S): _____

GERENTE: _____

REGISTRO NO DEPARTAMENTO NACIONAL DE COMBUSTÍVEIS - DNC Nº: _____

1- HÁ QUANTO TEMPO O POSTO ESTÁ EM OPERAÇÃO? _____

2- TIPOS DE COMBUSTÍVEIS ESTOCADOS? CITAR O NÚMERO DE TANQUES E A TANCAGEM PARA CADA COMBUSTÍVEL:

Gasolina: _____

Álcool: _____

Diesel: _____

3- NÚMERO DE BOMBAS E LINHAS DO POSTO? ESPECIFICAR PARA CADA COMBUSTÍVEL:

Gasolina: _____

Álcool: _____

Diesel: _____

4- COMO É REALIZADA A AFERIÇÃO DO VOLUME DE PRODUTO NOS TANQUES? COM QUE FREQUÊNCIA? _____

5- QUAL O TIPO DE DESCARGA EFETUADA?

Normal ( )

Selada ( )

COM QUE FREQUÊNCIA? _____

NESTA OPERAÇÃO, OCORRE ALGUM TIPO DE PERDA DE PRODUTO? EM CASO AFIRMATIVO, ESTIMAR O VOLUME: _____

6- NO POSTO É FEITA TROCA DE ÓLEO?

Sim ( )

Não ( )

EM CASO AFIRMATIVO PARA ONDE VAI O ÓLEO QUEIMADO? _____

7- NO POSTO É FEITA LAVAGEM DE VEÍCULOS?

Sim ( )

Não ( )

EM CASO AFIRMATIVO, PARA ONDE VAI A ÁGUA SERVIDA? _____

8- JÁ FORAM REALIZADOS TESTES DE ESTANQUEIDADE PARA VERIFICAÇÃO DE TANQUES E LINHAS?

Sim ( )

Não ( )

EM QUE DATA: _____

QUAIS RESULTADOS: _____

9- QUAL A IDADE DOS TANQUES ? E DAS LINHAS?

10- É FEITA MANUTENÇÃO DAS LINHAS? QUAL A FREQUÊNCIA?

11- HÁ ALGUM TIPO DE PROTEÇÃO NOS TANQUES? (PROTEÇÃO CATÓDICA, PAREDE DUPLA, CALHAS, CAIXAS DE CONCRETO, OUTRAS).

12- JÁ HOVE ALGUM CASO DE PERDA DE PRODUTO POR VAZAMENTO OU ACIDENTE? EM CASO AFIRMATIVO, EXPLICAR:

13- O CAIXA DO POSTO ACUSOU A PERDA DE PRODUTO? QUAL A ESTIMATIVA EM TERMOS VOLUMÉTRICOS?

14- JÁ HOVE TROCA DE ALGUM TANQUE? QUANDO? QUAL O ESTADO DO TANQUE SUBSTITUÍDO E NOVO?

15- JÁ FOI NOTIFICADA ALGUMA RECLAMAÇÃO SOBRE SURGIMENTO DE PRODUTO NAS PROXIMIDADES DO POSTO? Sim ( ) Não ( )
EM CASO AFIRMATIVO, ESPECIFICAR A DATA E O LOCAL DO SURGIMENTO:

16- O PAVIMENTO DO POSTO SE ENCONTRA EM BOAS CONDIÇÕES? EXPLICAR:

17- JÁ FOI FEITA ALGUMA REFORMA NO POSTO? Sim ( ) Não ( )
QUAL A DATA E O QUE FOI TROCADO?

18- OBSERVAÇÕES:

POR:

DATA: / /