

IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DE VAZAMENTO DE GÁS NATURAL DE BAIXA E MÉDIA PRESSÕES, NA ÁREA URBANA CENTRAL DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

Jean Prost MOSCARDI ¹, Neide ARAUJO ², Antônio Roberto SAAD ³

(1) Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço Eletrônico: jean_p_moscardi@yahoo.com.br. (2) Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental (DAIA). Secretaria do Meio Ambiente. Avenida Prof. Frederico Herman Jr., 345 – Pinheiros. CEP 05459-900. São Paulo, SP. (3) Centro de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão, Universidade Guarulhos (UnG). Praça Tereza Cristina, 01 – Centro. CEP 07023-070. Guarulhos, SP. Endereço eletrônico: asaad@prof.ung.br.

Introdução
Métodos e Técnicas Utilizadas
Características da Área de Estudo
 Aspectos Geológicos e Pedológicos
Análise dos Empreendimentos
Fatores Ambientais
Resultados Obtidos e Respostas Analíticas
 Meio Físico-Químico
 Aspectos Físico-Químicos Gerais
 Aspectos Físico-Químicos Específicos
 Meio Biótico
 Fauna
 Flora
 Meio Antrópico
 Condições de Vida da População
 Paisagem Urbana
Considerações Finais
Referências Bibliográficas

RESUMO – Com a busca por fontes de energia alternativas, o gás natural vem adquirindo posicionamento de destaque por seu relativo baixo custo de aquisição ao consumidor final e por apresentar reduzidos impactos na implantação de dutovias, comparados com outras fontes de energia (hidroelétrica e fissão). O presente trabalho foi direcionado para a verificação de possíveis impactos oriundos de vazamentos em tubulações de gás em sua fase operacional. A área de estudo localiza-se no Município de São Paulo; sua escolha deve-se por apresentar tubulações centenárias que demandam constantes intervenções ou manutenções e pela fácil captação de amostras para análise. Foram amostrados 40 pontos e nestes analisados aspectos dos meios antrópico, biótico e físico-químico. O método adotado fundamentou-se na caracterização dos dutos de gás e sua manutenção, no diagnóstico ambiental, considerados os fatores ambientais solo, ar, flora, fauna, condições de vida da população e paisagem urbana, e posterior identificação de impactos, nas situações de alteração dos impactos ambientais. Os resultados demonstraram que qualquer vazamento de gás gera uma alteração em pelo menos um fator ambiental, denotando um impacto. Novas linhas de estudo são propostas como melhor análise químico-física do material exposto ao contaminante e reações químicas do odorante com o solo que teve contato.

Palavras-chave: Impactos ambientais, vazamentos de gás natural de baixa e média pressões em áreas urbanas, manutenção em dutovias.

ABSTRACT – J.P. Moscardi, N. Araújo, A.R. Saad – *Environmental impacts resulting from natural gas leaking under low and middle pressures in the central urban area of the São Paulo city.* With the search for alternative power plants, the natural gas is acquiring prominence due to its relative low cost of acquisition for the final consumer, and to present reduced impacts in the implantation of pipelines compared with other sources of energy (hydroelectric and fission). The present work was directed to the verification of possible impacts originated from leaks in operational phase of gas piping. The study area is situated in the city of São Paulo, Brazil. It presents centennial gas pipelines, which demand constant interventions or maintenance, and easiness to collect samples for analysis. 40 points were sampled and analyzed in their anthropic, biotic and physical-chemical aspects. The adopted method was based in the characterization of the gas ducts and their maintenance, followed by the environment diagnosis, taking into account the soil, air, flora and fauna, conditions of the population life and urban landscape, with subsequent identification of impacts, in the situations of alteration of the environment impacts. The results had demonstrated that any gas leak generates an alteration in at least one environmental factor, denoting an impact. New study lines are proposed as better chemical-physical analysis of the material exposed to the pollutant and chemical reactions of the odorants with which the soil is in contact.

Keywords: Environmental impacts, leaks of natural gas of low and medium pressures in urban areas, maintenance in pipelines.

INTRODUÇÃO

O gás natural vem despontando como uma das principais fontes de energia tanto em países industrializados como em desenvolvimento, destacando-se

seu uso em vários segmentos econômicos, tais como indústria, cogeração, comércio, transportes e outros; sendo que nos últimos cinco anos, seu consumo foi

superior ao do petróleo em termos mundiais (Rodrigues, 2003) (Tabela 1).

TABELA 1. Geografia de clientes e fornecedores.
Fonte: Rodrigues (2003).

Geografia de clientes fornecedores (% de total de importações e exportações mundiais)	
A "tríade" importadora	
União Européia	40
Estados Unidos	16
Japão	11
Os 10 exportadores	
Rússia	32
Canadá	15
Argélia	9
Noruega	7
Holanda	6
Turquemenistão	5,8
Indonésia	5,3
Malásia	3,2
Reino Unido	2,2
Qatar	2

No Brasil, este combustível vem adquirindo posicionamento de destaque na matriz energética e seus maiores fins são para a utilização em indústrias, comércio e transportes público e privado.

Entretanto, a operação de transporte do gás natural, de sua origem até o destino final, ocorre de forma complexa e onerosa, desenvolvendo-se sob meio de dutovias ou na forma líquida, neste caso, como gás natural liquefeito.

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), a instalação de gasodutos teve início no final do século XIX. A matéria-prima utilizada para a geração provinha do azeite, seguido pelo gás de hidrogênio carbonado, carvão, nafta, uma mistura envolvendo água e hulha, até finalmente a migração para o gás natural, desenvolvida a partir da década de 80 (COMGAS, 2003).

Como todo o empreendimento de Engenharia Civil/Mecânica, tanto em áreas urbanas quanto áreas rurais, a implantação de gasodutos corresponde a uma atividade antrópica modificadora do meio ambiente e, portanto, sujeita a causar impactos ambientais. Tal observância reflete-se nos inúmeros estudos que têm sido realizados pelas concessionárias e distribuidoras, visando a melhor escolha do local da implantação da obra e do tipo de tubulação. No entanto, pouco tem sido relatado sobre os impactos ambientais em decorrência da manutenção desta atividade, como pode ser observado na Figura 1.

Partindo desse princípio, este trabalho trata dos impactos ambientais provindos de vazamento em gasodutos na área urbana central do município de São Paulo (Figura 2) ocorridos nos últimos cinco anos.

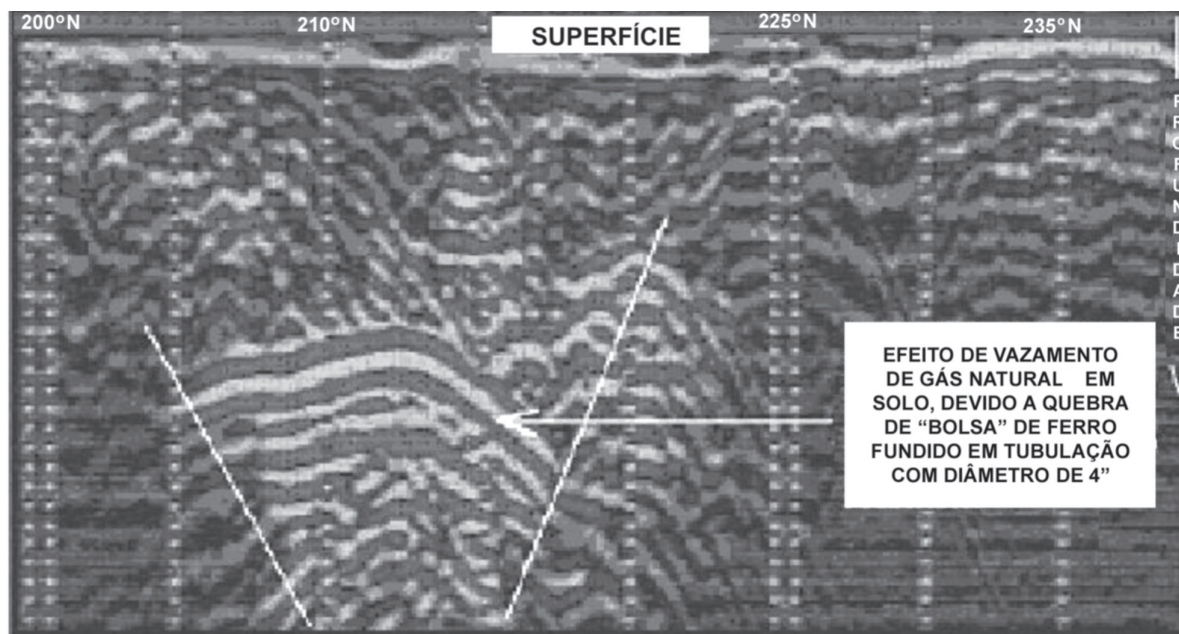


FIGURA 1. Alteração no meio físico - Imagem de radar de penetração de solo, localizando um efeito de vazamento proveniente da quebra de uma bolsa de ferro fundido de uma manilha de 4". Fonte: INGAA (2003).



FIGURA 2. Área da parte central do Município de São Paulo.

MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

A identificação dos impactos decorrentes dos vazamentos em gasodutos foi realizada a partir da descrição das características desse tipo de empreendimento e operações de reparo, e da caracterização ambiental das áreas avaliadas. Foram considerados os meios: físico-químico, através dos fatores ambientais solo e ar; Biótico (fauna e flora); e antrópico (condições de vida da população e paisagem urbana).

A análise das características do empreendimento sobre o espaço urbano permitiu elencar alguns impactos ambientais de ocorrência potencial, que foram, então, confirmados ou não em campo através de indicadores.

Inicialmente, foram reunidos dados e informações a respeito do tema, com a finalidade de obter um panorama completo sobre o assunto, bem como dados ambientais e físicos relativos ao Município de São Paulo, área do estudo. Foram consultados livros, dissertações de mestrado, teses de doutorado, artigos em revistas científicas, relatórios técnicos, legislação vigente, catálogos, normas técnicas, bibliotecas virtuais e sites, citando-se entre outros os da Companhia de Gás de São Paulo (www.comgas.com.br), Prefeitura do Município de São Paulo (www.prefeitura.sp.gov.br), Companhia do Metropolitano de São Paulo (www.metro.sp.gov.br) e Petróleo Brasileiro S.A. (www.petrobras.com.br).

Com base nas informações obtidas nesta etapa elaborou-se uma planilha com todos os tópicos encontrados sobre o tema e decidiu-se trabalhar com somente alguns deles, baseado na fácil obtenção dos

dados em campo e nos poucos recursos disponíveis.

Para auxílio *in loco* nas obtenções e verificações de valores e pontos, foi formatada uma planilha (*check-list*) de campo (Figura 3). Ela está dividida em quatro partes: cabeçalho, meio biótico, meio antrópico e meio físico-químico, sendo no último mais expandida. De tamanho reduzido, constituída apenas por tópicos e tendo como resposta “sim”, “não” ou “não aplicável”; resultou em expressivo auxílio e rápida constatação dos resultados, evitando perdas de tempo desnecessárias.

Quarenta locais foram escolhidos por apresentarem tubulação com idade mais avançada e/ou por terem sido liberados para a execução do estudo pela empresa sub-contratada que desenvolvia o reparo. A verificação se deu de modo a apresentar um ponto no local do vazamento e outro fora, porém na mesma região, totalizando 80 pontos pesquisados.

Oito amostras coletadas forma submetidas a ensaios de detecção de enterobactérias pelo Enterokit B® e a contagem de Unidades Formadoras de Colônias em placas de Petri.

No tratamento dos dados, todos os 40 locais foram reunidos em uma tabela única. Por meio desta foi possível ter-se um patamar integrado dos impactos ambientais verificados e, assim, visualiza-los.

A análise desenvolvida baseou-se na verificação dos valores encontrados em campo e a correlação com a literatura existente sobre o assunto, definindo uma precisa identificação das alterações.

Ficha de cadastro de vazamento Número/data:

A – Cadastro Geral

Local: _____ Número: _____ Bairro: _____ Cidade: _____

B – Dados Físico-químicos

B.1 – Dados gerais

Tipo: _____ Lel: _____ Vol: _____ Pressão do gás (bar): _____ Temp. Local (°C): _____ Chuva: Sim () Não ()
 Insolação: Sim () Não () Prof. da tubulação (m): _____ Pressão Atm. Local (atm): _____
 Umidade (%): <= 50 () > 50 e < 100 () = 100 ()
 Tempo de reparo do vazamento (a partir da chegada da equipe no local) (minutos): _____ > 30 (X) <= 30 ()

B.2 – No local do vazamento

Solo

Solo:	<i>Natural</i> ()	<i>Empréstimo</i> ()	Solo Natural:	<i>Residual</i> ()	<i>Coluvial</i> ()
Granul. da amostra:	<i>Areia</i> ()	<i>Argila</i> ()	Crau de Umidade:	<i>Ressecada</i> ()	<i>Úmida</i> ()
Presença de trincas:	<i>Sim</i> ()	<i>Não</i> ()	Recalque de solo:	<i>Sim</i> ()	<i>Não</i> ()
Presença de odor no solo:	<i>Sim</i> ()	<i>Não</i> ()	Aspecto esfarelado:	<i>Sim</i> ()	<i>Não</i> ()
Cor do solo:	<i>Clara</i> ()	<i>Escura</i> ()	Retirada amostra:	<i>Sim</i> ()	<i>Não</i> ()

Ar

Presença de odor no ar: *Sim* () *Não* () **Propagação:** *Sim* () *Não* ()

B.3 – Fora do local de vazamento (analisada de 5 a 10 m de distância do local de vazamento)

Solo

Solo:	<i>Natural</i> ()	<i>Empréstimo</i> (X)	Solo Natural:	<i>Residual</i> ()	<i>Coluvial</i> ()
Granul. da amostra:	<i>Areia</i> ()	<i>Argila</i> ()	Crau de Umidade:	<i>Ressecada</i> ()	<i>Úmida</i> ()
Presença de trincas:	<i>Sim</i> ()	<i>Não</i> ()	Recalque de solo:	<i>Sim</i> ()	<i>Não</i> ()
Presença de odor no solo:	<i>Sim</i> ()	<i>Não</i> ()	Aspecto esfarelado:	<i>Sim</i> ()	<i>Não</i> ()
Cor do solo:	<i>Clara</i> ()	<i>Escura</i> ()	Retirada amostra:	<i>Sim</i> ()	<i>Não</i> ()

Ar

Presença de odor no ar: *Sim* () *Não* () **Propagação:** *Sim* () *Não* ()

FIGURA 3. Primeira parte da planilha de campo.

CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

O Município de São Paulo está localizado na porção leste do Estado de São Paulo e perfaz uma área total de 1.522, 986 km². De acordo com o último censo (IBGE, 2000), sua população é de 10.434.252 milhões de habitantes, que se encontram distribuída em 95 bairros.

A área pesquisada, encontra-se no núcleo urbano central do município e corresponde a uma área de 188,0 km² (Figura 2).

De acordo com a PMSP (2003), o uso e a ocupação dessa área comporta indústrias, comércio e residências. Em geral, predominam condições de vida da

população em níveis regulares a bons, excetuando-se os bairros Sé e Brás (Figura 4), que se apresentam com qualidade inferiores em relação aos demais.



FIGURA 4. Distribuição dos bairros na área estudada.

Trata-se de uma região densamente urbanizada, com grande quantidade de prédios, vias pouco arborizadas, apresentando carências de praças e jardins.

ASPECTOS GEOLÓGICOS E PEDOLÓGICOS

Segundo Takiya (1997), do ponto de vista geológico, na área pesquisada ocorrem três unidades

lito-estratigráficas principais. A primeira delas encontra-se representada por rochas magmáticas e metamórficas indiferenciadas, de idade pré-cambriana localizadas principalmente nas porções sul e sudeste da área, perfazendo cerca de 10% do total.

A segunda unidade corresponde às rochas sedimentares paleógenas pertencentes à Bacia Sedimentar de São Paulo. Na região em análise, encontram-se presentes as formações Resende (conglomerados e arenitos conglomeráticos a grossos), Tremembé (folhelhos e argilitos cinza-esverdeados a escuros) e São Paulo (conglomerados, arenitos grossos a finos, siltitos, argilitos e folhelhos). Essa unidade abrange cerca de 45% em área.

A terceira unidade, de idade quaternária, corresponde a depósitos aluviais e colúviais. Os primeiros desenvolveram-se principalmente nas planícies dos rios Tietê, Tamanduateí e Pinheiros e, localmente, em córregos constituintes de suas bacias hidrográficas. Via de regra, são formados por areias, argilas e conglomerados. No município de São Paulo, apresentam-se frequentemente cobertos por camadas de aterro (Takiya, 1997).

Os depósitos colúviais representam a sequência iniciada, geralmente, por *stone line*, na base, seguido de horizontes argilosos ou arenosos, com diferentes graus de laterização. São depósitos porosos, exibindo baixas compacidade e consistência e sendo, portanto, suscetíveis a colapso. Via de regra, possuem espessuras acima de 1,5 m.

Solos residuais ocorrem principalmente sobre rochas do embasamento cristalino, em áreas de relevo mais acidentado, sendo notado também localmente sobre sedimentos terciários da bacia.

CARACTERÍSTICAS DO EMPREENDIMENTO

O gás natural utilizado na área, é constituído quase exclusivamente por metano em sua forma natural (Tabela 2).

TABELA 2. Composição do gás natural de São Paulo.
Fonte: COMGAS (2003).

Composto	Fórmula química	% na composição do gás natural
Metano	CH ₄	91,80
Etano	C ₂ H ₆	5,58
Propano	C ₃ H ₈	0,97
I-Butano	C ₄ H ₁₀	0,03
N-Butano	C ₄ H ₁₀	0,02
N-Pentano	C ₅ H ₁₂	0,10
Dióxido de Carbono	CO ₂	0,80
Nitrogênio	N ₂	1,42

É utilizado para os mais variados fins, para aquecimento de água, ar condicionado, até combustível para termoeletricas e veículos (caminhões e automóveis). O público-alvo deste mercado varia de acordo com sua localização, cultura, formação histórica e nível social.

Além de seus componentes básicos o gás é acrescido de um odorante, elemento que lhe propicia o cheiro ao gás, que em São Paulo é uma mistura de mercaptanas, cujo nome comercial é SPOTLEAK 1009, fornecido pela empresa AUTOFINA Brasil Química Ltda. (AUTOFINA, 2002). As propriedades das mercaptanas tornam-nas um dos principais contaminantes em casos de vazamento. Suas principais características são: líquido a 20°C; incolor, fedorento; código ABNT - ONU: 1228; número de risco: 33 (classi-

ficação universal de periculosidade química para fins de transporte e manuseio. Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2003); pode causar sensibilização por contato com a pele; altamente inflamável; reage violentamente com agentes oxidantes fortes, dióxido de enxofre, ácidos e bases, agentes redutores e metais alcalinos; decomposição térmica gerando produtos inflamáveis e tóxicos; irritante para o sistema respiratório.

As tubulações de gás podem ser, usualmente, de aço e ou polietileno. Até aproximadamente o começo da década de 80, o material mais utilizado era o ferro fundido (fofo), hoje considerado impróprio por não suportar as pressões normais de utilização e fragilidade.

No levantamento em questão somente foram encontrados redes de baixa e média pressões que correspondem respectivamente, a 2.500 Pa e 100 Kpa. Os diâmetros variaram de 3/4" a 8". As profundidades de instalação variavam de 0,5 m até 2,5 m em solos que poderiam ser de empréstimos e ou naturais.

Na área estudada os gasodutos foram construídos através de dois métodos:

- Processo destrutivo: largamente utilizado antes da década de 70, decorrendo de substituição total do solo natural por solo de empréstimo; uma camada de argila e ou areia bem graduada é aplicada ao redor da tubulação.
- Processo não destrutivo: o solo natural é mantido somente ao redor da tubulação. Nesse caso, é injetado lama bentonítica e utiliza-se brocas ou "tatus".

Quanto aos fechamentos (nomenclatura utilizada para denotar processo de fechamentos de valas em logradouros e/ou redes de gás), durante as operações de manutenção verificou-se qual era a pavimentação no local e desenvolvia-se a mais semelhante à anterior (quando possível). Estes fechamentos poderiam ser dos tipos paralelo e/ou concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ).

Entende-se manutenção como "*ato ou efeito de manter, gerenciar ou administrar*" (Ferreira, 1995); para tubulações, é todo o processo de conservação, reparo, troca ou substituição de qualquer parte, seja integrante e/ou periférico, pertencente ou atuante no processo.

Foram abordados, somente, os subgrupos: preventiva e vazamento.

A manutenção preventiva é desenvolvida com o intuito de preservar, manter e/ou trocar um equipamento, parte da rede e/ou periférico, que em futuro próximo poderá causar dano ambiental, monetário e/ou burocrático a uma entidade qualquer. Constitui-se de vistorias via observação direta ou com o uso de equipamento para a detecção de qualquer irregularidade.

No caso de possíveis vazamentos, usa-se um automóvel dotado de um cromatógrafo à base de

chama de hidrogênio. No caso de uma depredação ou quebra de um equipamento por caso fortuito ou de força maior, esta manutenção detecta e aciona o setor competente, em casos emergenciais (vazamentos, ausência de gás em localidades) e/ou elabora-se programação a curto e médio prazo (trocas de ponto de testes – p.t.(s), cercas etc.).

A emergência é acionada em qualquer caso de vazamento ou liberação de gás não programada e que necessita de um reparo imediato. Ocorre em baixa, média e alta pressões por motivos que variam de imperícia, imprudência, negligência, casos fortuitos.

O processo de constatação de vazamento pode ser desenvolvido de inúmeras formas e maneiras; entre as quais: por equipamentos, por observação nua, por informação de terceiros e ou bio-indicadores (Foto 1).

Os reparos dependerão do tipo de material constituinte da tubulação e a pressão do gás no local (modificado de ASME, 1989) e, não serão enfocados.



FOTO 1. Bio-indicadores (árvore seca devido vazamento de gás na raiz).

Entretanto, destaca-se que no reparo de algumas tubulações, alguns materiais utilizados deverão ser devidamente descartados (resíduos), podendo estes serem tão impactantes tanto quanto o próprio vazamento de gás.

Como exemplo, pode-se citar as resinas anaeróbias para tratamento de juntas de ferro fundido e aplicação de resinas de proteção em elementos enterrados, à base de epóxi.

FATORES AMBIENTAIS

Com base nas características da área estudada e no empreendimento, selecionaram-se os fatores ambientais que mais condiziam, direta ou indiretamente,

com as alterações ambientais e que fossem passíveis de análise pelos métodos e técnicas utilizadas. A Tabela 3 apresenta os fatores e meios considerados.

TABELA 3. Meios ambientais e fatores ambientais. Fonte: Adaptado de Macedo (1996).

Meios ambientais	Fatores ambientais	Indicadores de alterações ambientais
MEIO FÍSICO-QUÍMICO	SOLO	Diminuição do grau de umidade
		Ressecamento, trincas, recalques e esfarelamento
		Aumento do teor de explosividade, em função do acúmulo de gás natural intergranular
		Alterações organolépticas (cor e odor)
	AR	Alteração organoléptica (odor)
		Aumento do teor de explosividade, em função do acúmulo de gás natural no ar
Propagação do gás natural		
MEIO BIÓTICO	FLORA	Presença de árvores e/ou outras vegetações ressecadas
		Presença de fungos visíveis a olho nú
		Constatação de presença de entero-bactérias, através de análise Enterokit B.
		Alteração na contagem de unidades formadoras de colônia (U. F. C.), por meio de análise laboratorial
	FAUNA	Presença de animais mortos
		Presença de animais próximos com alteração comportamental
MEIO ANTRÓPICO	CONDIÇÕES DE VIDA DA POPULAÇÃO	Alterações físicas: desmaios, ferimentos, estado de coma, irritabilidade, dentre outros.
		Alterações psicológicas: humor, estresse, pânico, dentre outros.
	PAISAGEM URBANA	Alterações expressivas: queda de árvores, presença de valas ao longo de logradouros e calçamento, destruição de propriedades e bens públicos, dentre outros.

RESULTADOS OBTIDOS E RESPECTIVAS ANÁLISES

Com base nos procedimentos adotados, os principais resultados referentes aos meios e fatores ambientais encontram-se sumarizados nas Tabelas 4 a 15.

Desse conjunto de dados, merecem destaques as seguintes indicações de alterações ambientais:

MEIO FÍSICO-QUÍMICO

Para clareza e fácil assimilação, manteve-se a divisão entre as esferas ambientais (já citadas anteriormente). Serão apresentados apenas os valores físico-químicos, visto o enfoque deste artigo (Tabela 4).

Aspectos Físico-Químicos Gerais

- **Tipos de vazamento** – Foram verificados 40 vazamentos sendo 20 pontuais e 20 com infiltração (vazamentos que migram por outras tubulações,

solo e ou áreas e não são detectados diretamente no seu lugar de origem). O número de amostras não é significativo para se afirmar a sobreposição de um sobre o outro.

- **Teor de explosividade** – Das 40 amostras verificadas, 34 apresentaram valores acima do “limite inferior de explosividade”, mostrando características de suscetibilidade a explosão. Estes valores denotam riscos a vida e danos materiais. O limite superior de explosividade não foi computado nesta análise, pois por sua característica de grande compressibilidade o poluente apresenta expressiva variação de concentração de um local para outro.
- **Pressão do gás na tubulação** – Em 38 locais apresentaram baixa pressão (250 mm ca) e 2 com

pressões de 1 bar, constituindo toda série de resultados em baixa e média baixa pressão. Os resultados levam a integrar melhor valores para baixa pressão do que média pressão devido à falta de quantidades de amostras para a análise completa.

- **Temperaturas encontradas** – Por estar localizada em região próxima dos trópicos, dentre outros fatores, São Paulo apresenta médias de temperaturas próximas de 30°C. Como temperatura é fator importante no comportamento de um fluido (modificado de Katz, 1959), adotou-se esta (30°C) como parâmetro de divisão. Notou-se 35 amostras abaixo de 30 °C e somente 5 acima.
- **Insolação** – Em dias chuvosos e de garoa, é mais complexa a detecção do vazamento e erros de leitura e de equipamento são mais comuns. De todas as 40 amostragens, 26 ocorreram em dias de sol, 5 em dias com chuva e 9 em nublados, denotando maior facilidade na detecção e sanagem dos vazamentos.
- **Umidade relativa do ar** – Este fator, assim como os dois citados anteriormente, complementam a dispersão do fluido nos meios (solo e ar). A explicação é semelhante à já apresentada. Nos dias das amostragens, 5 tiveram umidade em valores de 100%, 32 dias umidade entre 50 e 100%, e 3 dias umidade inferior a 50% (denotando clima mais seco e facilitando o trabalho de sondagem).
- **Profundidade da tubulação** – Este dado é importante para saber o tamanho da pluma de dissipação do poluente no solo e seu formato. Além destes, dependendo das características do solo, pressão do gás no local, suas características (fluido), entre outras, denota o tempo aproximado do vazamento. Adotou-se 3 patamares de valores baseado no padrões de construção baseados na ASME B31.8 (modificada de ASME, 1989): profundidades menores que 1 m, onde foram verificadas 27 amostras; profundidades entre 1 m e 1,5 m, 9 amostras e acima de 1,5 m, 3 amostras. Verificou-se que a baixa profundidade a largura do cone de poluentes sofria redução.
- **Tipos de solo encontrados** – O solo trabalha, em um vazamento, entre outros aspectos, como agente condutor do fluido e também como mitigador de seus impactos para outro meio que o segundo segue. Dos solos encontrados, 32 foram entendidos como de empréstimos e somente 8 como naturais. Desta forma, os resultados serão melhor esmiuçados nos solos de empréstimo do que no natural.

Aspectos Físico-Químicos Específicos

- **Solo de empréstimo** (aterros) – Do total de 40 amostragens desenvolvidas, 32 apresentavam-se

TABELA 4. Dados gerais físico-químicos.

Dados gerais		
Quesitos	Número de locais	Obs.:
Pressão do gás (bar)	38	Apresentando valor de 0,250
	2	Apresentando valor de 1,000
Condições climáticas	5	Chuvosos
	26	Ensolarados
	9	Nublados
Pressão atmosférica (atm)	40	Apresentando valor 1
	3	Valores menores que 50
Umidade relativa do ar (%)	32	Valores entre 50 e 100
	5	Valores em 100
	28	Menores que 1
Profundidade da tubulação (m)	9	Entre 1 e 1,5
	3	Entre 1,5 e 2,0
	6	Menores que 80% de lel
Teor de explosividade	34	Maiores que 80% lel
	35	Inferiores a 30
Temperatura no local (°C)	5	Superiores a 30
	40	Superiores a 30 minutos
Tempo de reparo (minutos)	32	De empréstimo
	8	Natural

como de empréstimo, representando 80% do total (Tabela 5).

Notou-se 28 argilas e 4 areias. A norma da época e para característica técnica do empreendimento, restringia somente o uso de cascalho e ou brita no assentamento da tubulação.

Cerca de 81,3% amostras (26 das 32) sofreram alteração de umidade (ressecaram ou apresentaram grau de ressecamento superior ao valor que apresentavam anteriormente). Notou-se alteração no material e no possível habitat.

De todas as amostras deste grupo, 19 sofreram alterações de esfarelamento (59% das amostras).

A alteração de odor foi relevante (cerca de 90%). Esta característica de fácil constatação foi determinante para a percepção da grandeza do impacto. O odor, somente como destaque, não é proveniente do gás natural mas sim do odorante; não obstante, onde se nota o segundo, entende-se a presença do primeiro.

Quanto à característica de mudança de cor, encontraram-se alterados em 25 das 32 amostras investigadas, sempre alteradas para tons preto, cinzas e marrons. Pode-se até denominar uma oxi-redução dos componentes dos mesmos; esta conclusão não pode ser assegurada, visto o pequeno número de amostras envolvidas e a falta de análises mais específicas sobre o assunto (inclusive com aparelhagem mais adequada).

- **Solos Naturais** – Devido às baixas profundidades das tubulações e os critérios construtivos adotados, não foram encontrados solos residuais, somente

coluviais; o que impede a constatação das possíveis alterações do poluente nos mesmos (Tabela 6).

Na análise dos solos naturais, deparou-se com sete casos com formação argilosa e somente um por formação arenítica. Este trabalho voltou suas análises principalmente para os casos de solos argilosos, pois é de fácil percepção que inúmeros desvios poderiam ocorrer no caso da areia e, sendo somente uma amostra, não seria corretamente identificado.

Foram constatados 87% de casos de ressecamento (7 de 8), sendo que todos os solos argilosos apresentaram essa característica.

Analisando os dois grupos em conjunto (solos naturais e de empréstimos), constata-se que em todos os casos, as argilas sofreram ressecamento, o que também foi verificado na maioria das areias. Identifica-se o efeito de higroscopia do gás.

Verificaram-se sete alterações quanto ao odor, sendo que a única amostra que não apresentou tal mudança, já apresentava cheiro típico de odorante, levando a concluir que este provém de um vazamento anterior ou, outra contaminação que propiciou odor semelhante.

Quase a totalidade de amostras (7 de 8) apresentaram alterações no quesito cor, denotando novamente grandes modificações e direcionando para possíveis reações químicas ou efeitos ópticos aqui não estudados profundamente.

Em ambos os solos, empréstimo e natural, observou-se significativa mudança de tons dos solos, para escuros e acinzentados. Este material poderá servir como balizador ou fácil indicador de alteração do meio.

- **Presença de odor no ar** – A presença de odor do poluente no ar já era esperada e foi comprovada com 100% das amostras (Tabela 7).

MEIO BIÓTICO

Flora

Observou-se ressecamento em parte de sua raiz, em todas as árvores que tiveram contado com o poluente e esta característica também foi verificada para outras vegetações (gramíneas, arvoredos, flores e outras), como pode ser visualizado no sintético da Tabela 8.

Para a execução dos ensaios laboratoriais, realizou-se a coleta das amostras duas a duas em campo, sendo que a primeira no lugar contaminado e a segunda em área próxima, mas livre do contato do poluente.

O exame de unidades formadoras de colônia, identificou um crescimento expressivo de bactérias nas áreas contaminadas (amostras de número ímpar na Tabela 9) em relação às suas áreas não contaminadas

TABELA 5. Solos de empréstimo.

Para solos de empréstimo				
Quesitos	Fora da área de vazamento		No local de vazamento	
	Número de locais	Obs:	Número de locais	Obs:
Granulometria	28	argilas	28	argilas
	4	areias	4	areias
Grau de umidade	6	ressecadas	26	ressecadas
	26	úmidas	6	úmidas
Presença de trincas	0	sim	0	sim
	32	não	32	não
Presença de recalques	0	sim	0	sim
	32	não	32	não
Aspecto esfarelado	2	esfareladas	17	esfareladas
	30	não esfareladas	15	não esfareladas
Presença de odor	2	com odor	28	com odor
	30	sem odor	4	sem odor
Cor	7	escura	25	escura
	25	clara	7	clara
Amostra *	4	sim	4	sim

* Retirada para análises laboratoriais

TABELA 6. Solos naturais.

Para solos naturais				
Quesitos	Fora da área de vazamento		No local de vazamento	
	Número de locais	Obs:	Número de locais	Obs:
Granulometria	7	argilas	7	argilas
	1	areias	1	areias
Grau de umidade	1	ressecadas	7	ressecadas
	7	úmidas	1	úmidas
Presença de trincas	0	sim	0	sim
	8	não	8	não
Presença de recalques	0	sim	0	sim
	8	não	8	não
Aspecto esfarelado	6	esfareladas	6	esfareladas
	2	não esfareladas	2	não esfareladas
Presença de odor	1	com odor	8	com odor
	7	sem odor	0	sem odor
Cor	1	escura	7	escura
	7	clara	1	clara
Amostra *	0	sim	0	sim

* Retirada amostra para análises laboratoriais

TABELA 7. Ar.

Para o ar				
Quesitos	Fora da área de vazamento		No local de vazamento	
	Número de locais	Obs.:	Número de locais	Obs.:
Presença de odor	0	com odor	40	com odor
	40	sem odor	0	sem odor

próximas (número par). Tal situação poderia ocorrer por dois motivos: identificação e afinidade destas culturas com o poluente, ou fixação destas no substrato devido a abundância de matéria orgânica em decomposição no meio.

Para tentar resolver a preposição acima mencionada, executou-se um ensaio de identificação de enterobactérias, comercialmente chamado de Enterokit B®, o qual propõe alguns meios como Lugol e Mielina, entre outros, para a fácil constatação. Os resultados constam da Tabela 10.

Na Tabela 11 pode-se observar outro tipo de micro-organismo presente na análise: *Streptococcus Áurius*.

Fauna

A caracterização da fauna local apresentou-se extremamente simplificada vista a possibilidade de migração dos espécimes locais e a área afetada pelo vazamento ser extremamente localizada. Assim, não foram encontrados animais em óbito.

Quanto a alteração comportamental, dois casos foram identificados de dois cães, ambos localizados na região central de São Paulo (Sé e Brás). A Tabela 12 resume os valores encontrados.

TABELA 8. Flora.

Quesitos	Para Flora			
	Fora da área de vazamento		No local de vazamento	
	Número de locais	Obs:	Número de locais	Obs:
Presença de árvore	0	ressecadas	20	ressecadas
	20	normais	0	normais
	20	não aplicado	20	não aplicado
Presença de outra vegetação	0	ressecadas	17	ressecadas
	17	normais	0	normais
	20	não aplicado	20	não aplicado
Presença de fungos vistos a olho nu	0	ressecadas	0	ressecadas
	0	normais	0	normais
	40	não aplicado	40	não aplicado

TABELA 9. Unidades formadoras de colônia (U.F.C.).

Diluição	Unidades formadoras de colônia (U.F.C.)							
	Amostras							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1,00E - 02	1.001	345	1.132	545	988	603	1.227	383
1,00E - 03	451	301	533	294	469	243	591	184
1,00E - 04	78	32	89	42	71	39	77	27

TABELA 10. Principais organismos detectados de observação via uso de microscópio e utilização de Enterokit B®.

Principais organismos encontrados	ENTEROKIT B®							
	Amostras							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Maior quantidade	-	-	-	-	-	-	-	-
Menor quantidade	<i>Yersinia enterocolitica</i>	-	<i>Yersinia enterocolitica</i>	-	-	-	<i>Yersinia enterocolitica</i>	-

TABELA 11. Principais organismos detectados de observação via cultura em placas de Backer.

Principais organismos encontrados	OUTRO MICROORGANISMO ENCONTRADO							
	Amostras							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Maior quantidade	<i>St. Áurius</i>	-	<i>St. Áurius</i>	-	-	-	<i>St. Áurius</i>	-
Menor quantidade	-	<i>St. Áurius</i>	-	<i>St. Áurius</i>	<i>St. Áurius</i>	<i>St. Áurius</i>	-	<i>St. Áurius</i>

TABELA 12. Fauna.

Quesitos	Para fauna			
	Fora da área de vazamento		No local de vazamento	
	Número de locais	Obs:	Número de locais	Obs:
Presença de animais mortos	0	sim	0	sim
	0	não	0	não
	40	não aplicado	40	não aplicado
Presença de animais com alteração comportamental	0	sim	2	sim
	2	não	0	não
	38	não aplicado	38	não aplicado

MEIO ANTRÓPICO

Condições de Vida da População

Além da problemática nos meios já citados, o poluente ocasiona no meio antrópico a irritação nos seres humanos (vias respiratórias, olhos, pele e outras), variando desde problemas psicológicos (5 dos 13 casos) (Tabela 13) e físicos (todos os casos) (Tabela 14), estas últimas incluindo reclamações informais de ocorrência de distúrbios e dores em vários órgãos e ou sistemas (em simultaneidade ou não).

Paisagem Urbana

Foram inúmeras as ocorrências que se restringiram à área afetada e a qualquer tipo de tráfego, ocasionando

geração de incômodos e atrasos devido a desvios. A Tabela 15 indica que em todos os locais estudados, foram verificadas alterações na paisagem urbana.

TABELA 14. Local de ocorrência da irritação.

Local de ocorrência da irritação		
Quesitos	No local de vazamento	
	Número	Obs:
Local de ocorrência da irritação	16	cabeça
	0	membros
	8	olhos
	0	pelos
	2	Trato respiratório

TABELA 13. Condições de vida da população.

Condições de vida da população		
Quesitos	No local de vazamento	
	Número de locais	Obs:
Alterações físicas: desmaios, ferimentos, estado de coma, irritabilidade entre outros	18	Sim
	0	Não
	22	Não aplicado
Alterações psicológicas: humor, estresse, pânico, dentre outros	5	Sim
	13	Não
	22	Não aplicado

TABELA 15. Paisagem urbana.

Paisagem urbana				
Quesitos	Fora da área do vazamento		No local do vazamento	
	Número de locais	Obs.:	Número de locais	Obs.:
Alterações na paisagem urbana	0	sim	40	sim
	40	não	0	não

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise integrada dos resultados obtidos evidenciou que qualquer vazamento de gás natural ocorrido na área pesquisada implicou num tipo de impacto ambiental. No meio físico, constatou-se a contaminação do solo e subseqüentes alterações de suas características físico-químicas; ainda no mesmo meio, o ar denotou diretamente a presença dos poluentes (gás e odorante). Na biota, a alteração do habitat ocasionou uma seleção tanto da fauna quanto da flora, extinguindo os espécimes locais menos adaptadas e/ou forçando a sua migração. Já as alterações verificadas na paisagem urbana e nas condições de vida da população, direcionaram para a constatação de alteração no meio antrópico.

As razões técnicas que propiciaram os vazamentos detectados podem ser atribuídas aos seguintes fatores:

- fatores externos: rompimento por ação externa mecânica; atuação de corrosão por parte de solo (tanto do tipo natural como de aterro), com alta condutibilidade elétrica, quando a proteção catódica não atua de forma eficaz; movimentação do solo por fenômeno de acomodação a um esforço solicitado;
- fatores internos: perda de material por atrito dinâmico

das moléculas de gás com a superfície da tubulação; ressecamento das juntas do ferro fundido por parte do gás; reação química entre a tubulação, o gás natural e o odorante (em escala reduzida); rompimento do ferro fundido por ação de golpes de aríete e/ou sobre pressão, por não atuação adequada dos equipamentos de alívio contidos na rede.

Para que haja uma redução no número de vazamentos e, conseqüentes diminuição dos impactos ambientais essa área, apresentam-se as seguintes sugestões medidas mitigadoras:

- substituição, troca ou inserção da malha de tubulação, cuja vida útil encontra-se expirada. Atualmente, esse conjunto perfaz cerca de 200 km;
- quando possível, troca do solo impactado pelo vazamento. Nesses casos, o material a ser utilizado deve apresentar características mecânicas e elétricas que não “agridam” a tubulação de gás, independente de sua fração granulométrica.

Finalmente, reconhece-se a carência de estudos mais aprofundados nessa área, o que propicia a oportunidade para novas pesquisas e descobertas nesse setor, cada vez mais de vital importância para a economia mundial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Audiências/consultas públicas**. Ministério dos Transportes. Brasília, DF. 15 de setembro de 2003. www.antt.gov.br/acpublicas/apublica2003-08/APublica2003-08_10.pdf. Acesso em: 20 nov, 2003.
2. ASME – AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **Gas transmission and distribution piping systems**. New York: ASME, E-book, B31.8, 1989.
3. AUTOFINA – AUTOFINA BRASIL QUÍMICA LTDA. **SPOTLEAK 1009. Material Safety data sheet**. Oakville (Ontario, Canada), set. 2002.
4. COMGAS – COMPANHIA DE GÁS DE SÃO PAULO. São Paulo, 2003. Disponível em: www.comgas.com.br. Acesso em: 19 ago 2003.
5. FERREIRA, A.B.H. **Dicionário Aurélio Básico da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.
6. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico Brasileiro e Políticas Públicas. Ano 2000**. Brasil, 2003. Disponível em: www.ibge.com.br. Acessado em: 20 ago 2003.
7. INGAA – INTERSTATE NATURAL GAS ASSOCIATION OF AMERICA. **Natural Gas North America's Clean Fuel**. USA, 2003. Disponível em: www.ingaa.org/education/index.php?page=public. Acesso em: 19 ago 2003.
8. KATZ, D.L. **Handbook of natural gas engineering**. McGraw-Hill, 1959.
9. MACEDO, A. **Proposta de Classificação de Impactos Ambientais**. Rio Claro, 1996. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
10. RODRIGUES, J.N. **O clube do gás natural**. São Paulo, 2003. Disponível em www.janelanaweb.com/crise/gas_natural.html. Acesso em: 20 ago 2003.
11. SÃO PAULO (Cidade). Prefeitura Municipal. Prefeitura do Município de São Paulo. Setembro de 2003. Disponível em <www.prefeitura.sp.gov.br>. Acesso em: 12 set. 2003.
12. TAKIA, H. **Estudo da sedimentação neogênico-quaternária no Município de São Paulo: Caracterização dos depósitos e suas implicações na geologia urbana**. São Paulo, 1997. 152 f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

*Manuscrito Recebido em: 29 de setembro de 2006
Revisado e Aceito em: 21 de dezembro de 2006*