

# POSTOS DISTRIBUIDORES DE COMBUSTÍVEIS E O PROBLEMA AMBIENTAL EM BELO HORIZONTE, MG

**Celso de Oliveira Loureiro<sup>1</sup>; Leonardo Inácio de Oliveira, M.Sc.<sup>2</sup>; Osvaldo de Oliveira Aleixo  
Rodrigues<sup>3</sup> & Walter Duarte Costa<sup>4</sup>**

**Resumo:** Postos distribuidores de combustíveis representam um potencial de risco significativo ao meio ambiente, especialmente às águas subterrâneas. Este trabalho apresenta o problema da contaminação desse recurso em decorrência de eventuais vazamentos nos sistemas de armazenamento desses postos e também uma avaliação sobre a situação ambiental dos postos instalados em Belo Horizonte. Do total de 310 postos existentes em atividade no município em janeiro de 1999, aproximadamente um terço apresentava condições potencialmente críticas em razão da idade acima de 20 anos dos seus tanques, inadequação de acessórios e instalações para a proteção contra vazamentos e ausência de sistemas e procedimentos de monitoramento. Identificou-se cerca de 100 áreas no entorno destes postos que apresentam maior sensibilidade a um evento de contaminação por sua proximidade a poços de extração de água, garagens subterrâneas, redes de utilidades, hospitais, escolas, além de se localizarem em regiões de alta densidade populacional e onde o lençol freático apresenta-se pouco profundo, sugerindo assim, um potencial de impacto ambiental relativamente elevado no município. Na conclusão recomenda-se o cadastramento de todos os postos e atividades que utilizam SASCs; a criação regulamentações legais específicas para proteção dos aquíferos; e, a investigação dos pontos críticos identificados para a tomada das ações pertinentes.

---

<sup>1</sup> Ph.D., Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Endereço: Escola de Engenharia da UFMG  
DESA - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental  
Av. do Contorno, 842 Centro – 7º Andar  
Belo Horizonte - MG 30.110-060  
Tel.: (31) 3238-1884 - Fax. (31) 3238-1879  
e-mail: celso@desa.ufmg.br

<sup>2</sup> Eng. enheiro Civil, Doutorando em Engenharia Ambiental – Universidade de Michigan / Ann Arbor, EUA.

Endereço: 2151, Hubbard, #14  
48105 – Ann Arbor, MI - USA  
e-mail: loliveira@engin.umich.edu

<sup>3</sup> Engenheiro Eletricista, Mestrando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - UFMG.

Endereço: Rua Tomé de Souza, 860, sala 906  
Savassi – Belo Horizonte – MG – Brasil. CEP: 30240-131  
Tel/Fax.: (31) 3287-5436  
e-mail: oaleixo@hotmail.com

<sup>4</sup> Geólogo, Doutorando em Hidrogeologia – Instituto de Geociências Aplicadas - USP

Endereço: IGC – UFMG – Pampulha  
Belo Horizonte, MG  
Tel.: (31) 3499-5424  
e-mail: wdcosta@rbeep.com.br

**Abstract:** Fuel distribution centers represent a significant potential threat to environment, especially to groundwater. This article deals with this resource contamination problem, due to eventual leakages in the storage systems of gas stations and also evaluates their environmental condition in the city of Belo Horizonte. From the 310 gas stations operating in the municipality, in January, 1999, approximately one third posed critically potential conditions. This was due not only to the age of their tanks (more than 20 years old), but also to the inadequacy of the accessories and safety equipment to protect against leakage, as well as the inexistence of monitoring procedures. About one hundred distinct sites were identified in the areas around these gas stations, which were more critical, in a contamination event, due to their proximity to water extraction wells, underground garages, utilities nets, hospitals and schools. Besides that, the identified sites are located in regions of high population density and where the water table is shallow, suggesting a relatively high potential of environmental impact in the municipality. In the conclusion it is recommended the registration of all gas stations and activities which utilize underground fuel storage tanks; the creation of specific legal regulations for the protection of aquifers; and the investigation of the identified critical sites, which are required for the necessary actions.

**Palavras - chaves:** posto de combustível; impacto ambiental; belo horizonte

## INTRODUÇÃO

Os postos distribuidores de combustíveis compõem uma parte significativa do cotidiano moderno, principalmente nas grandes aglomerações urbanas. Esses postos representam, potencialmente, uma fonte de impactos ao meio ambiente, caracterizada por vazamento, no solo, de derivados de petróleo contidos nos *Sistemas de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis - SASCs*. Entende-se por um SASC, como sendo o conjunto de instalações que armazenam e distribuem os combustíveis em um posto revendedor incluindo tanques, tubulações das linhas de distribuição e bombas de abastecimento.

Os vazamentos de combustíveis derivados de petróleo no solo conduzem a três impactos principais: 1) a contaminação do solo e das águas subterrâneas por compostos tóxicos, especialmente os hidrocarbonetos aromáticos como o benzeno, tolueno, etil-benzeno e xileno (BTEX), presentes, em quantidades expressivas, na gasolina e no óleo diesel; 2) o risco de incêndios e explosões causados pelo acúmulo de combustíveis e seus vapores em estruturas subterrâneas como, por exemplo, garagens e redes de utilidades, 3) prejuízos à saúde humana por ingestão de líquidos e inalação de vapores dos compostos. (OLIVEIRA, 1999).

## **OBJETIVOS**

Neste trabalho apresenta-se, sucintamente, o problema da contaminação sub-superficial do solo por combustíveis derivados de petróleo e uma avaliação do impacto ambiental potencial representado pelos postos distribuidores de combustíveis instalados no município de Belo Horizonte, Minas Gerais. Essa avaliação, concluída em 1999, levou em consideração um universo de cerca de 310 postos existentes no município, naquela época, tomando-se como base a análise de uma série de informações obtidas junto aos postos – através de respostas a um formulário de caracterização – e junto às agências reguladoras do setor, a saber, o Departamento Nacional de Combustíveis – DNC e a Agência Nacional de Petróleo – ANP. (OLIVEIRA, 1999). Trabalhos realizados posteriormente (em fase final de conclusão) indicam que o número atual de postos de combustíveis instalados em Belo Horizonte aumentou para cerca de 440 unidades (COSTA, 2002).

A análise apresentada neste trabalho está relacionada às condições existentes no ano de 1999, considerando o universo completo de todos os postos de combustíveis, novos e velhos, existentes naquela época, em Belo Horizonte. Uma reavaliação destas condições, levando em conta a incorporação dos cerca de 130 novos postos, até o presente momento, está em fase final de elaboração e será apresentada oportunamente, em um futuro próximo (COSTA, 2002).

## **CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS POR DERIVADOS DE PETRÓLEO**

### **Importância das águas subterrâneas e a sua vulnerabilidade a contaminações.**

A água subterrânea é considerada hoje como a segunda matéria prima geológica mais importante, superada unicamente pelo petróleo (REBOUÇAS, 1996). A contaminação dessas águas por derivados de petróleo tem merecido atenção cada vez mais intensa nos meios acadêmicos e empresariais no Brasil, após ter-se revelado um dos mais graves problemas ambientais em países mais industrializados como Alemanha, Inglaterra, Japão e, principalmente, Estados Unidos. Nestes países, a dependência das águas subterrâneas para o abastecimento humano é crucial, o que tem originado o estabelecimento de regulamentações bastante restritivas para a proteção deste recurso contra contaminações (VIGHI e FUNARI, 1995).

No Brasil, onde cerca de 61% da população é atendida por águas subterrâneas, a dependência deste recurso é acentuada. Cerca de 80 a 90% das cidades dos Estados de São Paulo, Paraná, e cerca de 50 % de Minas Gerais 50% são abastecidas por poços. (REBOUÇAS, 1996). Recentemente, tanto a nível federal, através de regulamentação pela Agencia Nacional de Águas - ANA, quanto no Estado de Minas Gerais, através da Lei nº 13.771 de 11/12/2000, que trata da administração, proteção e conservação das águas subterrâneas, estabelecendo as condições específicas para a exploração dos aquíferos, mediante outorga obrigatória concedida pelo órgão responsável pela gestão das águas.

Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, está localizada na região centro-sul do Estado, possui uma área de cerca de 335 km<sup>2</sup>, foi inaugurada em 1897 e planejada para abrigar 200 mil habitantes em 100 anos. Entretanto, hoje conta com mais de 2,1 milhões de habitantes apresentando-se como um centro urbano em sua extensão territorial praticamente toda ocupada atingindo cerca de 90%. (VIANA, 2000). A principal fonte de abastecimento de água do município provém de captações de águas superficiais, encontrando-se em torno de apenas 200 poços de extração de águas subterrâneas. A profundidade do nível estático do lençol freático no município, avaliada a partir de dados disponíveis no trabalho de SILVA *et al.* (1995), varia de aflorante a cerca de 25 a 30 metros. Este dado é relevante para a análise dos processos de contaminação das águas por derivados de petróleo, dada a sua estreita relação com o desenvolvimento dessa contaminação por derivados de petróleo, representando um ponto de elevada vulnerabilidade, no caso dos aquíferos sub-superficiais de Belo Horizonte, em decorrência deste nível estático se apresentar com pouca profundidade na maior parte do território do município.

O Conceito de vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação pode ser avaliado caracterizando-se três dimensões:

- 1) avaliação da capacidade de atenuação da contaminação genérica do aquífero;
- 2) avaliação da probabilidade de propagação do contaminante; e,
- 3) avaliação da probabilidade de contaminação do recurso segundo o critério de parâmetros e padrões de qualidade estabelecidos para um determinado uso da água do aquífero.

A primeira dimensão, denominada *vulnerabilidade natural do aquífero*, é função da capacidade do solo para impedir a penetração do contaminante e, portanto, está relacionada com as características do solo (densidade, porosidade, condutividade hidráulica, pH, capacidade de troca catiônica, propriedades transientes, biológicas e biogeoquímicas, potencial redox, entre outras) e com as variáveis climáticas, hidrogeológicas e hidrogeoquímicas específicas do local (temperatura, evapotranspiração, regime de ventos, precipitação, profundidade do lençol, tipo de ocorrência de água subterrânea e características de seu fluxo, recarga artificial e características hidrogeoquímicas). A segunda dimensão, denominada *vulnerabilidade específica do aquífero*, depende das características físicas e químicas do contaminante e seu relacionamento com as propriedades do meio, que possam facilitar ou dificultar o seu transporte nesse meio. A terceira dimensão, denominada de *avaliação de risco de contaminação do aquífero*, depende da carga e da concentração do contaminante que poderia causar danos à saúde humana ou ao ambiente, sendo o critério para esta avaliação dependente do estabelecimento de parâmetros de interesse e padrões de qualidade para o uso da água do aquífero. (SEGURA, 1997).

## Os derivados de petróleo - Riscos e impactos da contaminação ambiental

Os principais derivados do petróleo são os combustíveis como a gasolina, o óleo diesel e o óleo combustível. Dentre esses derivados, a gasolina é o que se encontra mais difundido no nosso cotidiano, pois é o principal combustível de veículos de passeio e outros motores que servem à maioria da população brasileira. O óleo diesel também é largamente utilizado, embora a diversificação do universo de consumidores deste combustível seja menor do que a da gasolina sendo formado basicamente pelo ramo de transporte rodoviário, ferroviário e fluvial. Atualmente, cerca de 20% do petróleo processado no Brasil é convertido em gasolina e 36% em óleo diesel (MME-DNC, 1996).

A gasolina é um composto complexo e variável, com mais de 200 componentes, em sua maioria hidrocarbonetos leves (5 a 12 átomos de carbono) como os alcanos, alquenos e os monoaromáticos (MME-DNC, 1996). Entre esses últimos estão o benzeno, o tolueno, o etil-benzeno e os xilenos (mais conhecidos como compostos BTEX), que apresentam maior potencial de risco à saúde humana, pois estão entre os componentes mais solúveis dentre os hidrocarbonetos que compõem a gasolina. Os compostos BTEX são poderosos depressores do sistema nervoso central, apresentando toxicidade crônica, mesmo em pequenas concentrações (da ordem de ppb - parte por bilhão). O benzeno é reconhecidamente o mais tóxico deles. Uma exposição aguda (altas concentrações em períodos curtos) pode causar até mesmo a morte de um indivíduo. Trata-se, também, de uma substância comprovadamente cancerígena (causa leucemia, ou seja, câncer dos tecidos que formam os linfócitos do sangue), mesmo se ingerida ou inalada em baixas concentrações por períodos não muito longos de tempo (alguns anos).

O padrão de potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde para o benzeno é de 0,005 mg/l (ou 5 ppb) (Ministério da Saúde, 2000). Entretanto, quando uma certa quantidade de gasolina entra em contato com água, a concentração dissolvida de benzeno na água pode atingir cerca de 30 mg/l (ou 30.000 ppb) (OLIVEIRA et al., 1990).

O óleo diesel é também composto por vários hidrocarbonetos, mas numa faixa de substâncias mais pesadas (6 a 22 átomos de carbono) como os naftalenos, antracenos e fenantrenos. Também fazem parte da mistura os compostos BTEX, geralmente numa proporção menor que na gasolina. Embora o volume consumido no país seja quase o dobro do volume consumido de gasolina, o óleo diesel é um combustível menos preocupante, em termos ambientais, devido à sua menor mobilidade no meio poroso e por possuir os compostos tóxicos citados acima em menor quantidade na sua composição, se comparada com as quantidades encontradas na gasolina.

A gasolina brasileira, antes de ser comercializada para a revenda, recebe a adição de álcool etílico anidro combustível (ou simplesmente etanol) na proporção de 24% em volume, aproximadamente. O objetivo dessa adição é o aumento do índice de octano da gasolina, antes

obtido com compostos de chumbo (que tornavam a gasolina altamente tóxica, tendo sido banidos a partir da década de 80). No entanto, sob o aspecto ambiental, nos cenários de contaminação de solos, essa mistura altera os processos de transporte dos poluentes através dos solos e aquíferos, transformando-se em um componente a mais na complexidade do problema. O etanol age como co-solvente, permitindo uma maior solubilidade dos compostos BTEX na água, aumentando a sua dissolução e dispersão pelo solo e aquíferos. Além disso, existem indicações de que a presença de etanol no solo possa retardar a biodegradação natural dos compostos BTEX (CORSEUIL, 1996).

Uma vez no solo, os combustíveis e os seus diversos componentes podem se dispersar de maneiras diferenciadas, dependendo de vários fatores, entre eles: o tipo e a quantidade de líquido liberado no solo; as características físico-químicas dos produtos constituintes da mistura combustível; as características físico-químicas e biológicas do solo; as características litoestatigráficas e hidrogeológicas do sistema sub-superficial do solo; e a proximidade do lençol freático. Os principais processos que podem acontecer aos combustíveis no solo são (HILLEL, 1988) (ABRIOLA, 1988):

- penetração da fase livre do produto pelo solo, em um movimento vertical descendente através da zona não-saturada, até atingir, eventualmente, a zona saturada do meio, formando um manto de material sobrenadante ao lençol freático;
- mobilização horizontal do combustível no solo, em sua fase livre, no manto de material sobrenadante ao lençol freático, podendo vir a atingir fundações, garagens, galerias e outras estruturas subterrâneas;
- retenção residual permanente do combustível nos poros do solo, tanto na zona não-saturada quanto na zona saturada, formando uma fonte perene de contaminação da água subterrânea;
- transferência de massa entre a fase livre do produto e a fase aquosa do solo, com a dissolução parcial dos componentes solúveis e a conseqüente contaminação da água na zona não-saturada e na zona saturada;
- expansão da pluma de contaminação da zona saturada com a conseqüente contaminação do aquífero, e o eventual comprometimento de cursos d'água e poços de água de abastecimento;
- retardamento no transporte e biodegradação dos produtos no solo, resultante de processos físico-químicos e biológicos; e,
- volatilização dos componentes mais leves formando uma pluma de contaminação na fase gasosa da zona não-saturada com eventual poluição atmosférica.

Dependendo da extensão do cenário específico de contaminação dos solos e das águas subterrâneas, o local contaminado precisa passar por processos variados de controle de expansão da

poluição ou de remediação para minimizar a extensão dos impactos ambientais e assegurar o seu uso continuado de uma maneira segura e ambientalmente adequada.

O procedimento para se remediar um local contaminado por um combustível derivado de petróleo consiste em três fases principais: 1) remoção e recuperação de todo o produto em fase livre; 2) remoção do máximo possível do produto em fase residual; e 3) aplicação de procedimentos para remediação das zonas contaminadas ou de técnicas que favoreçam a degradação natural (biorremediação) do produto restante no solo e na água subterrânea.

Os custos desses tratamentos podem variar muito (de centenas a alguns milhões de dólares), dependendo do grau e extensão da contaminação, do tipo de solo e de muitos outros fatores. Tais tratamentos podem se estender por longos períodos de tempo (da ordem de alguns anos) (COLE, 1994).

Devido aos altos custos e longos prazos envolvidos e à complexidade do problema, os procedimentos de remediação precisam ser precedidos por avaliações de risco à saúde humana e ao meio ambiente e monitorados para ajustar as ações corretivas de modo a atender aos padrões pré-estabelecidos e recomendados para cada tipo de uso do solo e da água subterrânea.

Além dos problemas citados anteriormente, há ainda riscos de incêndios ou explosões e de ingestão de líquidos bem como inalação de vapores prejudiciais à saúde humana, causados pelo acúmulo de combustíveis ou seus vapores (que podem explodir em concentrações relativamente baixas no ar) em algumas estruturas subterrâneas. Muitas destas estruturas, como garagens, redes de utilidades, bueiros e caixas de canais fluviais, permitem o acúmulo de combustíveis oriundos de sistemas defeituosos, criando, assim, condições para a ocorrência de acidentes de grandes proporções. Esses tipos de riscos, que são os mais comumente associados aos postos distribuidores pela população em geral, também são evitados com a adoção da mesma tecnologia e dos mesmos procedimentos que evitam a contaminação de águas subterrâneas.

Diversos fatores contribuem para a ocorrência de vazamentos nos postos, entre os quais: a corrosão dos tanques de armazenamento e das tubulações das linhas de distribuição; a instalação defeituosa de equipamentos; o despreparo no manuseio dos combustíveis; falhas na manutenção dos SASCs; e fenômenos geológico-geotécnicos como abatimentos do solo, acidentes, entre outros.

Estatísticas internacionais mostram que tanques com mais de 20 anos de instalação têm uma grande possibilidade de apresentarem vazamentos decorrentes da corrosão dos mesmos (COLE, 1994; BLACKMAN, 1996). Assim, a idade dos postos e, principalmente a dos SASCs neles instalados, passa a ser um dos pontos-chave para a caracterização e avaliação do potencial de impacto representado por essa atividade comercial. Para uma avaliação mais completa desse potencial de impacto, principalmente no meio urbano, devem ser consideradas, além das características geológicas do solo e climáticas e hidrogeológicas do local, a profundidade do lençol

freático, a relação de proximidade de outras atividades e vias de exposição importantes e sensíveis tais como hospitais, escolas, poços de extração de água subterrânea, canais pluviais, redes de esgoto e drenagem, dutos de eletricidade e telefonia, garagens subterrâneas, túneis, entre outras.

Da publicação EPA 40 CFR Part 280 - FRL-63386-3 – SASCs – Requisitos Tecnológicos – numa abordagem sobre as causas de emissões em SASCs, consta que a experiência mostra que, a partir de 20 anos, a possibilidade de vazamentos em SASCs ocorre em 25% dos SASCs testados e dentre os que não se apresentam estanques, 5% se deve a problemas nos tanques, 10% a problemas nas bombas e linhas de distribuição e 15% a vazamentos durante as operações de abastecimento, descarga para enchimento dos tanques e falhas nos dispositivos de vedação.

## **POSTOS DE COMBUSTÍVEIS EM B. HORIZONTE - SITUAÇÃO AMBIENTAL**

### **O município de Belo Horizonte e os postos de distribuição de combustíveis**

O município de Belo Horizonte possuía, até janeiro de 1999, 310 postos distribuidores de combustíveis, cujos dados foram obtidos, em parte, dos próprios postos, através de respostas a um Formulário de Caracterização. Os postos que responderam o formulário formaram um conjunto de postos cadastrados, totalizando 202 postos. As informações relativas a quase todo o restante dos postos foram obtidas junto ao, hoje extinto, Departamento Nacional de Combustíveis – DNC – e junto à Agência Nacional de Petróleo – ANP, formando um segundo conjunto de 108 postos com alguns dados relevantes conhecidos, entre eles a idade e a capacidade de armazenamento instalada.

Com base nas respostas fornecidas nos 202 formulários de caracterização respondidos e nos dados cadastrais das agências reguladoras foi possível, após algumas considerações que contornassem eventuais inconsistências apresentadas nos dados, estabelecer um perfil dos postos instalados na capital.

A distribuição geográfica dos postos pelo município de Belo Horizonte ocorre de forma desigual, mas reflete o processo histórico de ocupação e desenvolvimento da cidade. A maior parte deles (cerca de 2/3) se concentra no hipercentro da capital, região mais antiga, caracterizada por densidade populacional e que abriga a maioria das atividades desenvolvidas na cidade. Os demais estão pulverizados pelas regiões mais recentes do município e ainda em processo de adensamento (Figura 1).

Considerando a média de 5,4 tanques/posto, obtida entre os 202 postos cadastrados, estima-se a existência de um total de cerca de 1.700 tanques de armazenamento de combustíveis, instalados nos 310 postos da cidade. Assim, de acordo com estas estimativas, Belo Horizonte teria uma capacidade instalada de até 25,5 milhões de litros de combustíveis armazenados em tanques subterrâneos, dos quais, 18,6 milhões seriam derivados de petróleo (gasolina e óleo diesel) e 6,9

milhões de álcool anidro. O consumo de gasolina na capital é calculado em 1,36 milhões de litros/dia e o de óleo diesel em cerca de 0,9 milhões de litros/dia (ANP, 1999).

### **Geologia e hidrogeologia de Belo Horizonte**

Conforme pode ser visto no mapa geológico da Figura 2, o substrato de Belo Horizonte é formado por rochas pré-cambrianas que podem ser agrupadas em dois grandes domínios litoestruturais: 1) o do Complexo Belo Horizonte que abrange 70% do território do município e, 2) o das Sequências Metassedimentares do Supergupo Minas Gerais, 30% (grupos Itabira, Piracicaba e Sabará), ambos recortados por rochas mais recentes de natureza intrusiva e formações superficiais tais como sedimentos aluviais e cangas. (Viana, 2000).

No município de Belo Horizonte existem dois sistemas aquíferos principais. O primeiro, de maior expressão, é o aquífero nas rochas do Complexo Belo Horizonte que constituem o chamado Complexo Belo Horizonte. O segundo sistema aquífero, que contém as maiores reservas de água subterrânea, é o encontrado nas rochas metassedimentares do Supergrupo Minas, que ocorrem na porção sul do município.

O sistema aquífero do Complexo Belo Horizonte é do tipo livre, constituído na sua parte superior por rochas inconsistentes do manto de decomposição das rochas gnáissico-migmatíticas ou por material alúvio-coluvionar depositado sobre este manto ou mesmo em rocha sã e na parte inferior por rochas fraturadas. Assim, tem-se um aquífero granular poroso superior e um fissurado sotoposto, em comunicação hidráulica íntima, constituindo um só sistema aquífero.

A espessura deste aquífero granular poroso do manto de decomposição ou alúvio-colúvio é muito variável, desde a completa ausência, até profundidades maiores que 100m, como as encontradas na região da Pampulha. Este material granular apresenta uma variação faciológica muito grande, desde argilas até areias grossas, provenientes dos diferentes tipos litológicos, resultando um aquífero muito heterogêneo e anisotrópico. As maiores espessuras desta porção granular do aquífero não significam necessariamente maiores reservas ou elevadas permeabilidades uma vez que as frações argilosas podem predominar sobre as arenosas. De uma maneira geral, as maiores espessuras de rochas inconsistentes encontram-se na faixa oeste do município, enquanto na faixa leste tem-se as menores espessuras chegando a haver vastas áreas com afloramentos de rocha sã. (Figura 2).

As rochas duras do aquífero fissurado sotoposto também apresentam uma grande anisotropia e heterogeneidade quanto às reservas e produtividade de água. Neste tipo de aquífero a circulação e reserva das águas no subsolo ocorre nas discontinuidades das rochas como fissuras, fraturas, diáclases e outras. A trama e intensidade destas discontinuidades define o potencial do aquífero. As principais fraturas geológicas que possuem maior potencial de conterem água subterrânea são as de

direções NW, NS, N(30°40')E e subordinadamente as de direções EW porque normalmente se encontram abertas sem preenchimento de seus vazios por material lítico.

Os fluxos das águas subterrâneas neste sistema aquífero são congruentes com os fluxos das águas superficiais. Desta maneira, o nível de base das águas subterrâneas no município de Belo Horizonte é o rio das Velhas, isto é, todas as águas subterrâneas drenam para descarregar no leito do rio das Velhas.

A recarga deste aquífero é realizada exclusivamente por infiltração de águas superficiais, em zonas de recarga preferencial, ou em todas as partes das sub-bacias e principalmente por percolação de águas pluviais.

Trata-se de um aquífero com vulnerabilidade em geral grande à poluição de suas águas. A parte granular porosa superficial deste aquífero apresenta normalmente grande capacidade de infiltração de líquidos, o que o torna vulnerável à percolação de poluentes. Nas áreas do aquífero onde a espessura da zona não saturada é grande, o aquífero tem maior poder de autodepuração e naquelas onde a superfície freática é rasa a vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas é bem maior.

O sistema aquífero nas rochas metassedimentares do Supergrupo Minas é constituído de uma seqüência de aquíferos intercalados por aquíferos, formando um complexo hidráulico que está sobreposto ao embasamento cristalino do Complexo Belo Horizonte. As rochas metassedimentares apresentam mergulho forte para sudeste atingindo profundidades superiores a 600m. Esta atitude das camadas orienta o fluxo das águas subterrâneas para sudeste em direção oposta e independente à do fluxo das águas subterrâneas do Complexo Belo Horizonte. Assim, a recarga, circulação e descarga das águas subterrâneas dos aquíferos nas rochas metassedimentares não apresentam nenhuma intercomunicação ou correlação com as das rochas do Complexo Belo Horizonte.

Os aquíferos nas rochas metassedimentares são do tipo confinados, parcialmente granulares porosos e fraturados, heterogêneos e anisotrópicos com intensa variação lateral e em profundidade. A intercalação estratigráfica de rochas com diferentes granulometrias, durezas, graus de decomposição e variada competência é que confere aos aquíferos esta imensa variação de suas características físicas. Convém ressaltar que o mergulho forte das camadas, aliado a intercalações de rochas com diversos graus de compactidade e granulometria, fazem com que as perfurações de poços tubulares nestes aquíferos sejam muito difíceis e exijam equipamentos de grande capacidade e adequados a estas características.

A principal zona de recarga deste sistema aquífero, em Belo Horizonte, coincide com as áreas de afloramentos das formações metassedimentares no sopé e na encosta da serra do Curral. As águas ali infiltradas percolam para grandes distâncias para constituir imensos reservatórios de água subterrânea. As descargas dos aquíferos são realizadas através de fraturas e falhas geológicas

existentes na região do Quadrilátero Ferrífero. Por estas estruturas geológicas as águas migram de baixo para cima formando exutórios naturais na superfície que dão origem a rios e riachos perenes, muito comuns na região, alguns deles com águas quentes quando as suas águas subterrâneas procedem de grandes profundidades do subsolo.

Trata-se do principal reservatório de água subterrânea da região, com capacidade estimada para atender grandes demandas de água. É o mais importante manancial de água subterrânea de Belo Horizonte.

Em resumo, pode-se separar três grandes domínios hidrogeológicos principais na área do município. O primeiro é o domínio do Complexo Belo Horizonte que ocupa a maior porção do território de Belo Horizonte. O segundo é o domínio do Grupo Sabará, também de grande expressão areal, que aparece na parte centro sul do município. Finalmente o terceiro grande domínio é o constituído pelos Grupos Piracicaba e Itabira que ocorrem em toda a região sul de Belo Horizonte e formam os contrafortes da serra do Curral, constituindo os principais aquíferos com as maiores reservas de água subterrânea da região.

No caso do aquífero do Complexo Belo Horizonte há um poder de autodepuração natural muito grande apenas naquelas áreas onde a zona de aeração do aquífero é muito espessa. Estas áreas são congruentes com aquelas de topografia mais elevada. Nas partes mais baixas dos terrenos, o lençol freático, normalmente, é mais raso e este poder de neutralização natural dos poluentes é menor. A migração dos poluentes dependerá essencialmente da natureza do terreno do aquífero, do gradiente hidráulico do lençol freático e da intensidade, continuidade e quantidade da contaminação.

A poluição nos aquíferos das rochas metassedimentares pode ter um efeito regional maior, tendo em vista que o poluente infiltrado na serra do Curral, por exemplo, pode migrar para longas distâncias e contaminar as águas de aquíferos de outras regiões. Toda a área de recarga destes aquíferos é altamente vulnerável à poluição.

Convém ressaltar que os limites geográficos municipais não são congruentes aos limites hidrogeológicos e por isto deve-se propor uma política de proteção ambiental das águas subterrâneas juntamente com os municípios vizinhos de Belo Horizonte. (VIANA, 2000).

### **Os postos críticos em Belo Horizonte**

Um dos aspectos mais significativos no potencial de risco ao meio ambiente apresentado por um posto distribuidor de combustível é aquele relacionado à idade real do próprio posto. Postos com mais de 20 anos são preocupantes pelos seguintes motivos: 1) a idade dos SASCs instalados pode ser a mesma do posto; e 2) a tecnologia de equipamentos, os materiais aplicados e as técnicas de construção utilizadas nesses postos podem estar desatualizados em relação aos padrões atuais.

Para a avaliação da situação dos postos em Belo Horizonte, além destes aspectos foram consideradas as características de uso e ocupação do solo da vizinhança do posto.

Na época de instalação da maioria desses SASCs, ainda não havia o suporte técnico e o embasamento científico dos dias atuais, o que sugere a existência de instalações em condições de segurança precárias, devido à falta de dispositivos e procedimentos de monitoramento e de proteção contra a corrosão dos SASCs. Esses dispositivos e procedimentos foram introduzidos somente a partir dos anos de 1995 e 1997, com a publicação das normas técnicas NBR – 13.212/95 e NBR – 13.786/97.

A idade dos postos é importante, em primeiro lugar, por fornecer a informação de quantos anos a atividade vem sendo desenvolvida em determinada região do município. Segundo, no caso de sucessivas ocorrências de problemas em postos de determinada faixa etária, a reação mais lógica seria a identificação de outros postos que estão dentro dessa mesma faixa para fins de verificação das condições daquele grupo de postos. Entretanto, uma informação de maior significado que a idade do posto em si é a idade dos tanques e das tubulações instalados no posto.

Foram também investigadas algumas interferências naturais e urbanas, especificamente a relação de proximidade entre o nível do lençol freático e os tanques instalados e entre os postos e atividades consideradas sensíveis a um evento de vazamento de combustíveis como hospitais, escolas e poços de captação de água subterrânea. Essas interferências foram investigadas considerando-se uma distância máxima de 100 metros no entorno dos postos distribuidores de combustíveis.

O valor de 100 metros em relação ao local de instalação do posto foi escolhido por ser o mesmo estabelecido na norma NBR 13.786/97 (ABNT, 1997) para a classificação de postos conforme as características das atividades no seu entorno, exigindo-se maior proteção para a vizinhança que for mais sensível a eventos de vazamentos de combustíveis. Esse raio forma um círculo que abrange o quarteirão no qual o posto está instalado e parte de outros quarteirões vizinhos. No caso de um acidente ou vazamento, as primeiras providências visam a resguardar a segurança dessa amplitude de vizinhança. Em adição, esse valor é compatível com o escoamento de um BTEX (por exemplo, o benzeno, comum à gasolina e ao óleo diesel) no solo durante um período de aproximadamente 5 anos.

Os demais elementos que compõem o cenário urbano, tais como canais fluviais, redes de água, esgoto e drenagem, dutos de eletricidade e telefonia, túneis, garagens subterrâneas, e que também são considerados pontos sensíveis num evento de vazamento subterrâneo de combustíveis, não foram analisados neste presente trabalho devido à falta das informações precisas referentes a esses elementos.

Através dos dados obtidos, foram identificados 184 postos cujas idades são consideradas críticas, ou seja, que possuem mais de 20 anos, correspondendo a 59% do total de postos instalados no município (Tabela 1). Esse número pode chegar a 200 considerando os postos que não foram cadastrados. A maioria desses postos mais antigos está concentrada no hipercentro de Belo Horizonte, sendo que os postos construídos mais recentemente encontram-se dispersos na periferia, principalmente em áreas nas quais a ocupação é mais recente.

Tabela 1: Distribuição dos postos de combustíveis, por idade.

<b>Idade dos Postos (anos)</b>	<b>Cadastrados</b>	<b>Não Cadastrados</b>	<b>Acumulado (&gt; 20 anos)</b>
0 – 4	15	0	
5 – 9	28	0	
10 – 14	33	15	
15 – 19	8	3	
20 – 24	28	23	51
25 – 29	46	23	120
30 – 34	25	11	156
<b>Acima de 35</b>	19	9	184
Totais	202	84	64%

Obs.: As idades de 24 postos não puderam ser conhecidas  
 Fonte: Adaptado de Tabelas 10.2 e 10.3 de OLIVEIRA, 1999.

### **Os tanques de armazenamento de combustíveis considerados críticos.**

A maioria absoluta dos tanques dos SASCs instalados em Belo Horizonte é fabricada em aço. Identificou-se o total de 1097 tanques instalados em 202 postos, o que resultam numa média de 5,4 tanques por posto. Assim, a cidade possuiria cerca de 1700 tanques ao todo.

O percentual de tanques sem revestimento é de 40%, podendo chegar a 60% considerando-se que a maioria dos postos que não responderam não possui revestimento. Quanto ao tipo de descarga, 64% possuem descarga selada, não tendo sido mencionado a existência de câmaras de contenção na descarga, válvulas de alavanca no tubo de descarga, válvula de bola na tubulação de respiro. Apenas 26% responderam que realizam a limpeza periódica de seus tanques, fornecendo as datas das últimas limpezas, porém observou-se uma falta de programação para estas limpezas que apresentaram frequências variando de nenhuma a de 5 em 5 anos, passando por mensal, bimensal, trimestral, semestral, anual.

Além das informações sobre os 202 postos que foram cadastrados utilizando-se os formulários de caracterização respondidos, identificou-se 257 tanques em condições potencialmente críticas quanto à ocorrência de vazamentos, adotando-se os seguintes pressupostos, decorrentes do nível das informações obtidas:

- todos os postos estão sujeitos aos mesmos processos de desgaste de suas instalações, independente de sua localização no município;
- os tanques mais antigos, especialmente aqueles com mais de 20 anos de instalação, são mais vulneráveis a vazamentos, pois admite-se que já sofreram algum processo de corrosão;
- os tanques sem nenhuma proteção contra corrosão são mais vulneráveis. Já que a corrosão é o fator principal de deterioração dos tanques de aço, aqueles que não possuem nenhum tipo de proteção (como revestimentos das paredes ou dispositivos catódicos) certamente são mais frágeis do que aqueles possuem algum tipo de proteção neste sentido.

Esses 257 tanques considerados potencialmente críticos encontram-se instalados em 59 postos distintos conforme se mostra na Figura 3. É importante salientar que a identificação desses postos críticos foi baseada na amostra de 202 postos que responderam os questionários da pesquisa e que, conforme mostra a tabela 1, destes 202, 118 postos apresentam idade superior a 20 anos, portanto, os 59 considerados postos críticos correspondem a 50% deste total.

Considerando essa mesma proporção de 50%, pode-se projetar uma quantidade de 33 postos críticos entre aqueles 66 postos com mais de 20 anos que não foram cadastrados por não terem respondido o questionário. Assim, o total de postos em condições críticas quanto à integridade de suas instalações subterrâneas totalizaria 92 postos, ou seja, praticamente um terço dos postos de Belo Horizonte estaria em condições que mereceria uma atenção especial quanto à possibilidade de vazamentos em um total estimado de 400 tanques críticos, sugerindo um cenário de grande preocupação quanto à integridade das coleções hídricas subterrâneas e à segurança da população inserida neste contexto. (Tabela 2).

Nas projeções considerou-se um total de 286 postos cuja idade pôde ser conhecida dentre os 310 postos do município. Existem, portanto, 24 postos (310 menos 286) dos quais não se conhece a idade e, por isso, não entraram nessas projeções. Chama-se a atenção para o percentual de 64% dos postos com idade superior a 20 anos (184 dos 286).

Tabela 2: Resumo dos dados e projeções sobre os postos e tanques potencialmente críticos em Belo Horizonte

	<b>Postos</b>	<b>Tanques</b>
<b>Totais</b>	<b>310</b>	<b>~ 1.700</b>
Amostra de dados	202	1.097
Postos potencialmente críticos	59	257
Projeção de postos críticos no conjunto de postos não cadastrados	33	~ 140
<b>Total de postos e tanques potencialmente críticos</b>	<b>92</b>	<b>~ 400</b>

Portanto, aproximadamente um terço dos postos e um quarto dos tanques existentes em Belo Horizonte estariam em condições consideradas potencialmente críticas, sugerindo um cenário de grande preocupação quanto à integridade das coleções hídricas subterrâneas e à segurança da população inserida neste contexto.

A validade da argumentação de que a idade dos tanques (e dos postos) é essencial para a identificação de postos críticos confirma-se a partir da seguinte constatação: 4 postos indicaram em seus formulários a ocorrência de vazamentos de combustível no subsolo. Os anos de instalação dos tanques nesses 4 postos são 1969, 1973, 1975 e 1990, sendo o vazamento neste último causado por rompimento da tubulação devido a um afundamento da pista. Portanto, 3 dos 4 postos que confirmaram vazamentos são postos com mais de 20 anos de idade. Mostra-se, na Figura 4 uma região do município que concentra alguns dos postos considerados potencialmente críticos e também alguns dos postos que indicaram perdas e vazamentos de combustíveis.

Ao todo foram identificados 10 postos considerados potencialmente críticos localizados em terrenos com uma profundidade do lençol freático menor do que 5 metros, portanto, com tanques bem próximos da água subterrânea ou até mesmo submersos. Vazamentos de combustíveis nesses postos apresentariam um risco imediato de contaminação da água atingindo o lençol freático. Outro agravante nesses casos é o fato dos tanques submersos estarem sujeitos a forças de empuxo e, se não estiverem devidamente ancorados, podem sofrer movimentações que afetarão as tubulações e provocarão vazamentos.

No caso de uma contaminação próxima a hospitais ou escolas, onde a população se compõe especialmente por doentes, idosos e crianças, que estariam expostos à contaminação por derivados de petróleo, seria bastante frágil. Essas exposições podem se caracterizar por ingestão de água contaminada (grandes instituições podem possuir poços de captação de água) ou por inalação dos vapores orgânicos que podem chegar aos receptores através de estruturas subterrâneas como redes de esgoto ou através da circulação normal do ar.

Foram identificados 35 postos que possuem pelo menos uma escola num raio de 100 metros, 9 dos quais considerados potencialmente críticos. Também foram identificados 8 postos que possuem pelo menos um hospital dentro da sua área de influência, sendo que apenas um coincidiu com um posto considerado crítico. Dada à fragilidade da população nessas áreas consideradas sensíveis, espera-se que os postos revendedores de combustíveis próximos a elas tenham um maior controle de suas condições e de suas operações, minimizando assim, o possível impacto causado por um vazamento de combustível no solo.

Os poços de extração de água subterrânea são considerados pontos sensíveis ambientalmente, na medida em que a água extraída nesses poços possa ter diversos usos, incluindo, freqüentemente, o abastecimento para o consumo humano. De fato, diversos postos declararam em seus formulários

que utilizam a água extraída de seus poços para o consumo próprio e para usos na lavagem de carros, banheiros e restaurantes.

A crença habitual de que água subterrânea significa água pura e limpa contribui para o descuido na utilização desse recurso, pois nem sempre são feitas análises para se verificar a sua potabilidade. Foram identificados 182 poços de captação de água subterrânea no município de Belo Horizonte, sendo 59 instalados a menos de 100 metros de postos de distribuição de combustíveis e destes, 15 considerados potencialmente críticos.

### **As linhas de distribuição de combustível e bombas de abastecimento**

Dos 198 postos que responderam o item referente a linhas de distribuição, 181 indicaram que as tubulações das linhas são de aço galvanizado, sendo apenas 17 de tubulações PAD – polietileno de alta densidade, portanto isto mostra que a maioria está sujeita a problemas de corrosão, podendo-se inferir que a maior parte destas linhas em PAD foi instalada para substituir linhas em aço galvanizado que apresentaram problemas.

Apenas 8 % das bombas possuem câmaras de contenção, não tendo sido citada a existência de dispositivos como válvulas de segurança. Quanto a testes de estanqueidade cerca de 53% informou que executa testes mensais nas linhas e 28% responderam que a frequência é semestral. De qualquer modo estas respostas podem denotar falta de conhecimento, de políticas operacionais, de regulamentos legais e não apresentam a consistência suficiente para uma avaliação correta da situação.

### **Monitoramento dos sistemas de contenção de combustíveis**

Cerca de 28% das respostas indicaram as datas dos testes de estanqueidade, entretanto, essas respostas apresentam-se muito diversificadas demonstrando uma falta de política de monitoramento e a sua execução ocorre mais numa abordagem corretiva do que preventiva.

O monitoramento ocorre na maioria (70%) dos postos apenas por meio da aferição diária e manual dos volumes de combustíveis nos tanques. De acordo com a legislação esta aferição deveria ser efetuada duas vezes ao dia em todos os tanques. Apenas 3 % indicaram que havia ocorrido perda de combustível, o que representa um percentual muito inferior ao esperado. Isto pode indicar falta de controle principalmente sobre os derramamentos (mais frequentes e de menores volumes) ocasionados por falhas de manutenção e erros de operação, por exemplo, na desconexão após a descarga de combustíveis nos tanques, por se tratar de pequenos não são registrados.

## CONCLUSÕES

A contaminação de aquíferos por hidrocarbonetos pode inviabilizar a utilização futura desses recursos hídricos naturais. O número de postos de distribuição de combustíveis em Belo Horizonte bem como as idades atingidas por grande parte deles justificam a preocupação quanto ao impacto negativo que as águas subterrâneas possam vir a sofrer. De uma maneira geral, os dados obtidos trouxeram um conjunto amplo de informações sobre os postos revendedores de combustível instalados em Belo Horizonte e permitiram traçar um perfil dos mesmos e de sua distribuição.

O trabalho mostrou que Belo Horizonte apresenta um cenário de relativa preocupação no que diz respeito à atual situação dos postos distribuidores de combustíveis. Essa preocupação se deve principalmente à idade avançada de muitos dos sistemas instalados nesses postos, resultando num quadro potencialmente crítico quanto à possibilidade de vazamentos, agravados pelas várias interferências naturais e urbanas que ocorrem no município.

O número de postos considerados potencialmente críticos confirmam as estatísticas internacionais sobre problemas em postos revendedores de combustível. Aproximadamente 30% dos postos de Belo Horizonte apresentam características que os colocam num patamar que exige atenção. Foram identificados 59 postos nessa condição e, então, feita uma projeção pela qual existe um total de 92 postos em condições críticas na cidade, supondo que a média dos dados obtidos se aplica àqueles postos que não responderam os formulários de caracterização. Os dados obtidos desses últimos, porém, indicam a viabilidade dessa extrapolação, pois a relação de postos antigos é maior no conjunto dos que não responderam os formulários. Foram identificadas cerca de cem áreas consideradas sensíveis pela proximidade de hospitais, escolas e poços de extração de água subterrânea, para as quais deveria ser buscada alguma forma de adequação dos postos, nelas inseridos, às condições de segurança mais exigentes.

Verificou-se, também, um baixo índice de utilização de tecnologia atualmente disponível e recomendada para a prevenção de vazamentos em SASCs, bem como a falta de acompanhamento das condições desses sistemas, tanto pelos responsáveis pelos postos quanto pelos órgãos fiscalizadores nos diversos níveis organizacionais.

Considerando os possíveis impactos causados à saúde humana e ao ambiente e todos os aspectos que podem contribuir para a ocorrência de um vazamento de combustível, procede a afirmação de que um posto de abastecimento deve ser considerado, legalmente, como fonte potencialmente poluidora das águas subterrâneas, recomendando-se (OLIVEIRA, 1999):

- a criação de um código único abrangendo aspectos técnicos, legais e ambientais;
- a complementação do banco de dados para abranger todos os postos;
- a criação e institucionalização de um órgão responsável pela fiscalização dos postos;
- a realização de investigações das áreas e postos críticos;

- a verificação quanto à obediência à NBR 13.786/97, no que se refere aos dispositivos para a proteção e prevenção contra vazamentos;
- a exigência de plano de monitoramento para os postos distribuidores de combustíveis;
- o cadastramento de outras atividades que também utilizam SASCs.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT.** Rio de Janeiro. NBR 13.212/95. Construção de tanque atmosférico subterrâneo em aço-carbono. 11 pág. Março de 1995.
- ABNT.** Rio de Janeiro. NBR 13.786/97. Seleção de Equipamentos e Sistemas Para Instalações Subterrâneas de Combustíveis em Postos de Serviço. 1997.
- ABRIOLA, L.M.** *Multiphase Flow and Transport Models for Organic Chemicals: a Review and Assessment.* Electric Power Research Institute, Final Report. Ann Arbor, Michigan, USA, September, 1988. 93p.
- ANP - Agência Nacional de Petróleo.** *Planilhas eletrônicas disponibilizadas através de correio eletrônico.* Rio de Janeiro, janeiro de 1999.
- BLACKMAN, William C., Jr.** *Basic Hazardous Waste Management.* 2 ed. Boca Raton, FL, USA: Lewis Publishers, 1996. 397p.
- BRASIL.** Ministério da Saúde. *Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano. Portaria nº 1469, de 29 de dezembro de 2000.* Republicada no DO No. 7 – E, de 10/janeiro/2001, Seção 1, pg. 26.
- COLE, G. Mattney.** *Assesment and Remediation of Petroleum Contaminated Sites.* Boca Raton, FL, USA: Lewis Publishers, 1994. 360p.
- CORSEUIL, Henry X. and Alvarez, Pedro J.J.** *Natural Bioremediation Perspective for BTX-Contaminated Groundwater in Brazil: Effect of Ethanol.* Water Science & Technology, v.34, n.7-8, 1996. p.311-318.
- COSTA, Walter Duarte.** Tese de doutorado (em preparação). Instituto de Geociências Aplicada, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 2002.
- HILLEL, Daniel.** *Movement and Retention of Organic in Soil: A Review and a Critique of Modeling.* In: KOSTECKI, P. T., CALABRESE, E. J. *Petroleum Contaminated Soils - Volume 1.* Chelsea: Lewis Publishers, 1988. p.81-86.
- MME-DNC.** Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Combustíveis. *Anuário Estatístico 1995.* 1996.
- OLIVEIRA, E. et al.** *Gasoline Hydrocarbons: Groundwater Pollution Potential in Metropolitan São Paulo.* ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, Porto Alegre: 20 e 21/09/1990, p.92-103.

- OLIVEIRA**, Leonardo Inácio de. *Postos Distribuidores de Combustíveis em Belo Horizonte: Caracterização do Problema Ambiental em Potencial*. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 1999, 232p.
- REBOUÇAS**, Aldo de Cunha. *Diagnóstico do setor hidrogeologia*. Caderno Técnico ABAS, n.3, São Paulo, SP, Brasil, 1996.
- SEGURA**, Jorge Enrique Sanchez. *Avaliação da Vulnerabilidade da Água Subterrânea à Contaminação com Praguicida - Uma proposta metodológica*. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 1997, 190p.
- SILVA**, A.B., **CARVALHO**, E.T., **FANTINEL**, L.M., **ROMANO**, A.W., **VIANA**, D.S. *Estudos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos e geoambientais integrados no município de Belo Horizonte*. Relatório Interno do Convênio PMBH-IGC/UFMG. Belo Horizonte, MG. 1995. 375 p.
- USEPA**. 40 CFR Part 280. FRL-63385-3. *Underground Storage Tanks*. Technical Requirements. <http://www.epa.gov/swerust1/fedlaws/pre28001.htm>. Jun. 1998.
- VIANA**, Cláudia de Sanctis. *Caracterização dos Processos Erosivos no Município de Belo Horizonte – Uma contribuição à Gestão Ambiental e ao Planejamento Urbano*. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 2000, 217 p.
- VIGHI**, M., **FUNARI**, E. *Pesticide risk in groundwater*. Lewis Publishers (CRC); USA, 275p., 1995.

**AGRADECIMENTOS:** à PRODABEL e à Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, através da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, pela cooperação na disponibilização de dados. À Agência Nacional de Petróleo – ANP, pelos dados sobre os postos distribuidores. Ao CNPq, pelo financiamento das pesquisas.

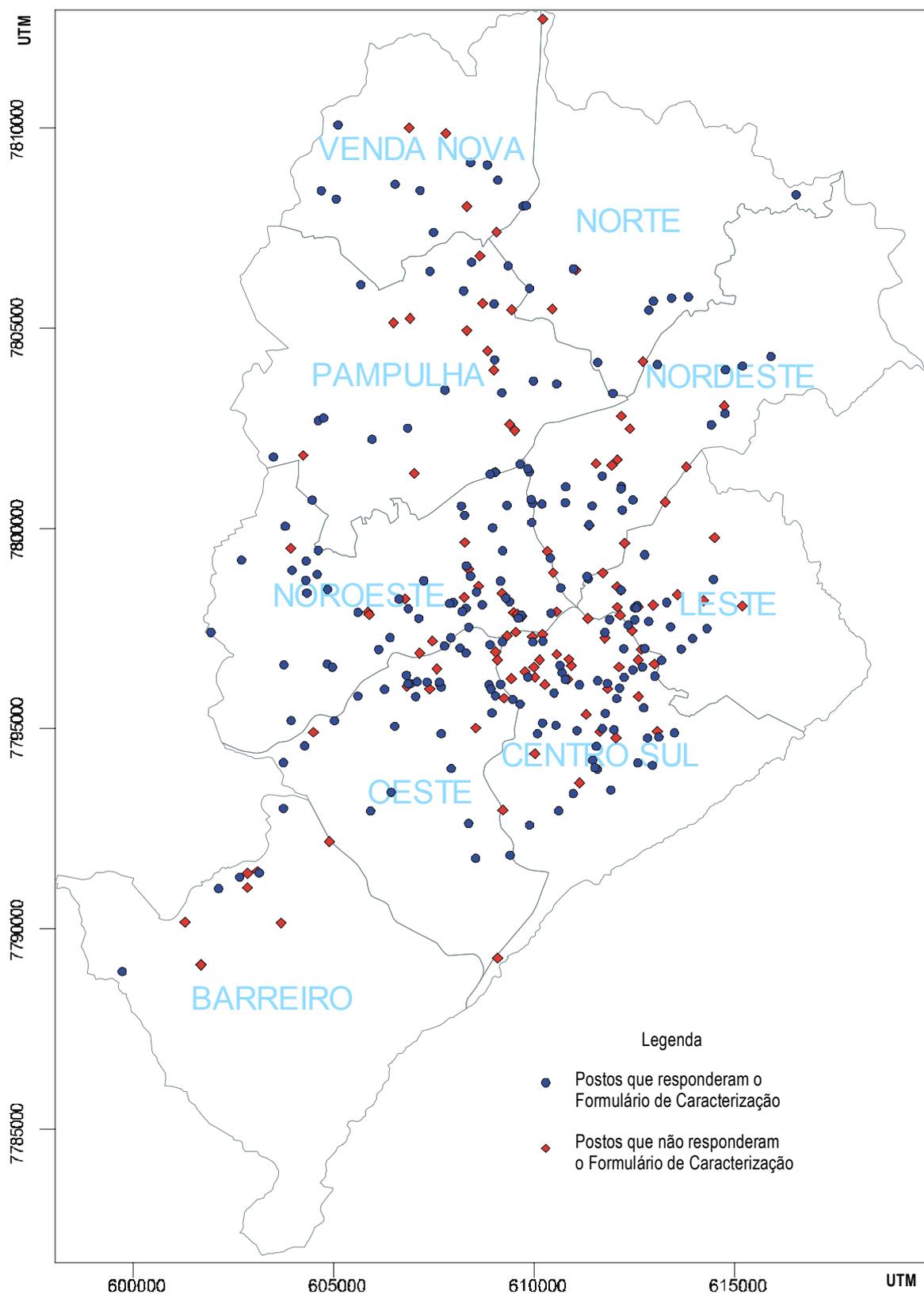


Figura 1: Distribuição geográfica dos 310 postos revendedores de combustíveis, do município de Belo Horizonte, MG, diferenciados pela devolução do formulário de caracterização. (OLIVEIRA, 1999).

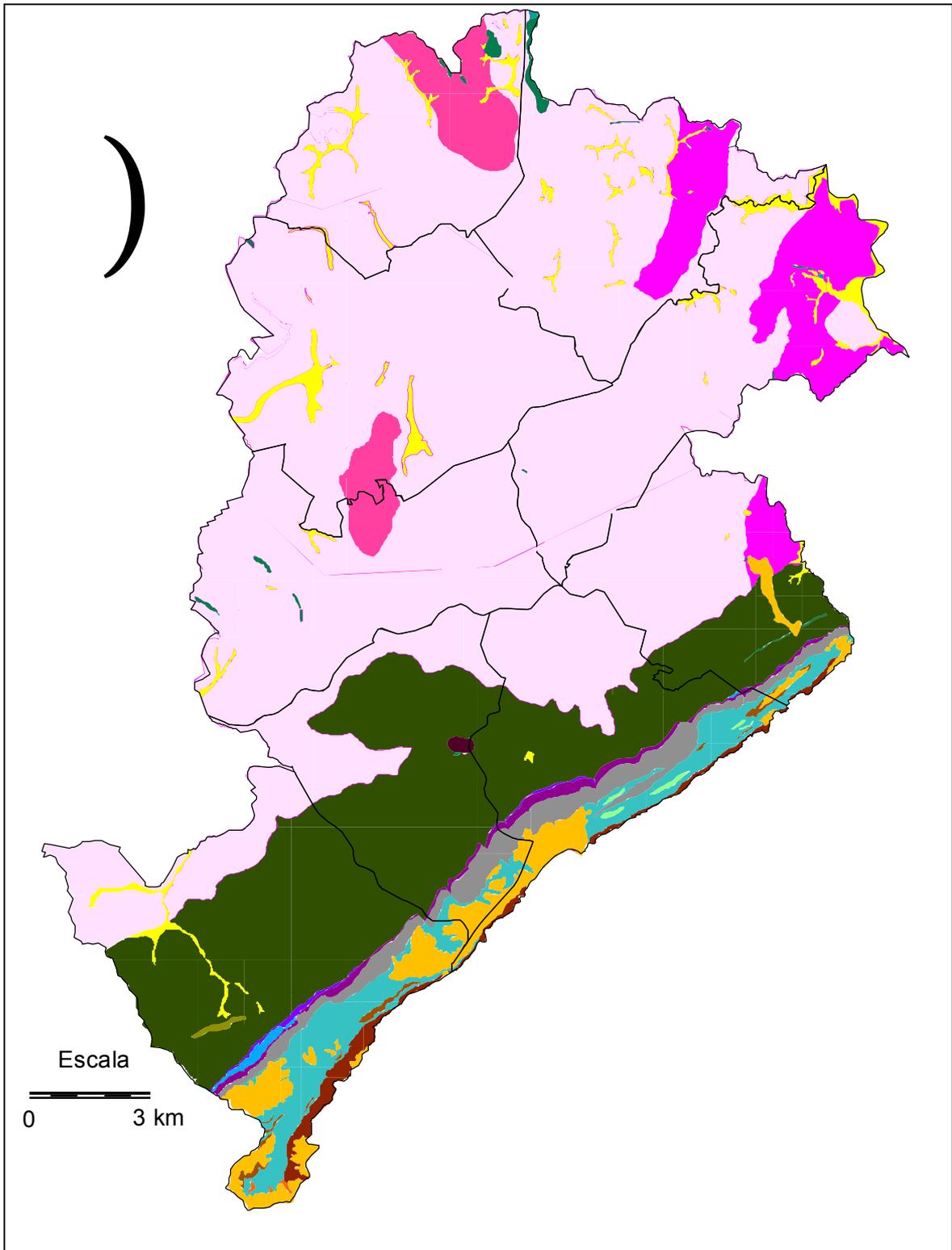


Figura 2: Mapa geológico do município de Belo Horizonte.  
(VIANA, 2000, modificado de SILVA et. al., 1997)

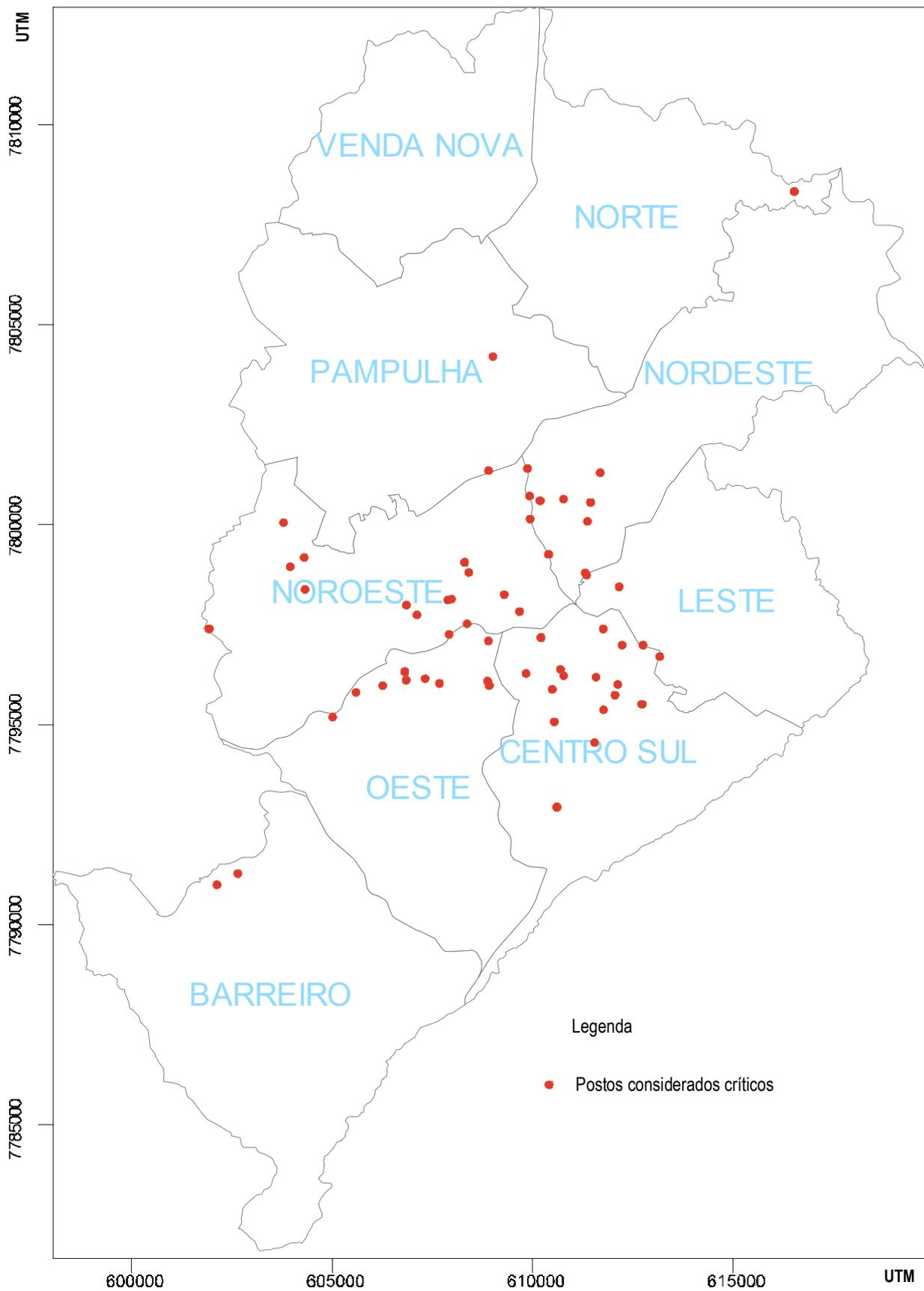


Figura 3: Distribuição dos 59 postos considerados potencialmente críticos no município de Belo Horizonte. (OLIVEIRA, 1999).



Legenda

Escala: 200 m

- Área com posto
- Área contendo posto crítico
- Área contendo posto que indicou perda
- Área contendo posto com vazamento confirmado

Figura 4: Região do município de Belo Horizonte que concentra alguns dos postos críticos, ou seja, postos que indicaram vazamentos de combustível no solo ou que sofreram algum tipo de perda de combustível. (OLIVEIRA, 1999).