

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

WALMIR RODRIGUES DE SÁ

Estudo do impacto de vazamento de LNAPL na espessura de fase livre

São Paulo - SP

2022

WALMIR RODRIGUES DE SÁ

Estudo do impacto de vazamento de LNAPL na espessura de fase livre

Versão para banca

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do Certificado de Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de *Brownfields*.

Orientadora: MSc Lélia Cristina da Rocha Soares

São Paulo

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação-na-publicação

Sá, Walmir Rodrigues

Estudo do impacto de vazamento de LNAPL na espessura de fase livre /
W. R. Sá -- São Paulo, 2022.
55 p.

Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1. Contaminação do solo 2. Remediação do solo 3. Água Subterrânea 4. Diesel
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar forças para chegar ao final da Pós-graduação.

À minha família que me incentivou em todas as etapas do curso.

A todos os professores que me proporcionaram aprendizado através dos seus conhecimentos, e a minha orientadora Lélia Cristina da Rocha Soares pela dedicação nas orientações para a elaboração desse trabalho.

RESUMO

Sá, Walmir Rodrigues de. Estudo do impacto de vazamento de LNAPL na espessura de fase livre. 2022. 45 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

A contaminação de solo e água subterrânea se dá pelo derramamento acidental ou provocado de produtos que são nocivos ao meio ambiente e à saúde humana. Dentre os contaminantes mais comuns, estão os hidrocarbonetos de petróleo, presentes, por exemplo, no diesel, que por sua vez é utilizado em diversos setores, como por exemplo, nos setores rodoviários, que compreende todas as atividades relacionadas ao abastecimento e até na manutenção. Vazamentos de óleo como diesel causam grandes impactos no meio ambiente, pois quando é derramado, ele pode existir em subsuperfície na forma de fase livre, ou seja, com capacidade de migração para dentro de um poço de monitoramento. Assim, o objetivo deste trabalho foi mostrar o comportamento da espessura de fase livre antes e após o rompimento de um tanque de óleo diesel presente em uma garagem de veículos, quando na área já estava em operação um sistema de remediação por bombeamento e tratamento. Os resultados mostraram que as espessuras de fase livre aumentaram consideravelmente, assim como o volume de óleo bombeado aumentou, devido ao vazamento e à ampliação do sistema de remediação na área.

Palavras-Chave: contaminação do solo, remediação do solo, água subterrânea

ABSTRACT

Sá, Walmir Rodrigues de. Study of LNAPL impact leakage on the free phase thickness. 2022. 45 f. Monograph (MBA in Contaminated Area Management, Sustainable Urban Development and Brownfields Revitalization) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

Soil and groundwater contamination occurs by accidental or provoked spillage of products that are harmful to the environment and human health. Among the most common contaminants are petroleum hydrocarbons, present, for example, in diesel, which in turn is used in various sectors, such as road transport, which comprises all activities related to supply and even maintenance. Oil leaks such as diesel cause great impacts on the environment, because when it is spilled, it can exist in the subsurface in the form of a free phase, that is, with the ability to migrate into a monitoring well. Thus, the objective of this work is to show the behavior of the free phase thickness before and after the rupture of a diesel oil tank present in a vehicle garage, when a pumping and treatment remediation system was already in operation in the area. The results showed that the free phase thicknesses increased considerably, as well as the volume of pumped oil, due to leakage and the expansion of the remediation system in the area.

Keywords: soil contamination, soil remediation, groundwater

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fenômeno de trapeamento de óleo no meio poroso	16
Figura 2. Processo de embebição com fenômeno de <i>snap-off</i> . (A) com trapeamento; (B) sem trapeamento	17
Figura 3. Processo de trapeamento de NAPL (<i>bypassing</i>)	18
Figura 4. Modelo conceitual de LNAPL em poço de monitoramento	21
Figura 5. Perfil de saturação de diesel em diferentes litologias.	22
Figura 6. Esquema típico de um sistema DPE.....	29
Figura 7. Mapa potenciométrico da área de estudo	32
Figura 8. Foto da ocorrência de fase livre (poço PM-02)	33
Figura 9. Localização dos poços de bombeamento e da fase livre.....	35
Figura 10. Foto da localização dos poços de bombeamento.....	35
Figura 11. Gráfico do nível d'água e espessura de fase livre	37
Figura 12. Gráfico do volume de óleo bombeado.....	39
Figura 13. Gráfico pluviométrico do período de abril a dezembro de 2021.....	39

ÍNDICE DE TABELA

Tabela 1. Métodos para estimar os volumes de fase livre removíveis.	25
Tabela 2. Dados de medições de óleo na área de estudo	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	11
3. JUSTIFICATIVA	12
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
COMPOSTOS ORGÂNICOS DERIVADOS DO PETRÓLEO	13
COMPORTAMENTO LNAPL EM SUBSUPERFÍCIE	14
Comportamento de fase livre de um LNAPL	20
ESTIMATIVA DE VOLUME DE PRODUTO EM FASE LIVRE	23
SISTEMAS RECUPERAÇÃO DE PRODUTO EM FASE LIVRE	26
5. MÉTODO	30
6. ÁREA DE ESTUDO	30
INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE A ÁREA DE ESTUDO	30
GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA	31
HISTÓRICO DO VAZAMENTO DO ÓLEO E DESCRIÇÃO DA REMEDIACÃO	33
Sistema de remediação e poços de bombeamento	34
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
8. CONCLUSÃO	40
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
Anexo 1	45

1. INTRODUÇÃO

Os problemas ambientais passaram a apresentar maior intensidade com a Revolução Industrial, tendo como base o sistema capitalista. O estímulo ao consumo trouxe impactos negativos ao meio ambiente e para toda a sociedade. Um destes impactos é a contaminação de solo e água subterrânea, que se dá pelo derramamento acidental ou provocado de produtos que são nocivos ao meio ambiente à saúde humana.

Dentre as diversas classes de contaminantes, tem-se os hidrocarbonetos do petróleo, presentes, por exemplo, no diesel. Este óleo é utilizado em setores como os rodoviários. Assim, a contaminação do solo e água subterrânea por diesel pode se dar através de vazamentos como no momento do abastecimento dos ônibus, durante carregamento dos reservatórios por caminhões tanques, falhas no sistema de segurança do bico de enchimento dos tanques dos ônibus, no sistema de bombeamento para as bombas de combustíveis e nos tanques de armazenamento de combustíveis por falta de manutenção.

Quando ocorre o derramamento do óleo, o mesmo infiltra no solo e pode migrar até atingir o nível d'água, a depender do volume vazado. Este óleo, quando ainda apresenta mobilidade no meio poroso, forma uma fase livre, denominada de LNAPL (*Light Non-Aqueous Phase Liquids*). Esta situação ocasiona risco imediato ao meio ambiente e à saúde humana, devido a toxicidade e a presença de compostos carcinogênicos.

Para reduzir a migração e espalhamento de em LNAPL, é necessário utilizar tecnologias de remediação na área impactada, sendo que as mais utilizadas são a Extração Multifásica (MPE, do inglês *Multi Phase Extraction*) e o Bombeamento e Tratamento (P&T, do inglês *Pumping and Treat*). Conforme a CETESB (2020), estas duas técnicas são as mais empregadas nos tratamentos de áreas contaminadas, sendo que de um total de 6.434 áreas cadastradas na CETESB até dezembro de 2020, 1314 e 1231 foram tratadas com uso de MPE e P&T, respectivamente.

Assim, o presente estudo mostra e discute a variação da espessura de fase livre ocasionada por dois vazamentos óleo diesel, sendo um de data desconhecida, e o segundo, ocorrido após o rompimento de um tanque de armazenamento. Este derramamento ocorreu quando área já vinha passando por uma ação de remediação

através do uso da técnica bombeamento e tratamento. O local do vazamento é uma garagem de ônibus, situada na cidade de Niterói, no estado do Rio de Janeiro.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é estudar a oscilação da espessura de fase livre antes e após o rompimento de um tanque de diesel, quando um sistema de remediação bombeamento e tratamento já estava em operação em uma área localizada em uma garagem de ônibus, situada na cidade de Niterói, estado do Rio de Janeiro.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Avaliar ao longo do tempo a oscilação dos níveis de água e óleo em um poço de monitoramento.
- Mostrar a evolução da espessura de fase livre na área de estudo diante de um cenário onde na área já tinha a presença de óleo, porém, em meio a remediação em andamento, quando um novo vazamento ocorreu.
- Avaliar as respostas obtidas com remediação por bombeamento e tratamento.

3. JUSTIFICATIVA

A contaminação do solo e águas subterrâneas durante o abastecimento dos veículos pode acontecer por diversos fatores, como por exemplo: falta de treinamento do pessoal, falha no sistema automático de enchimento do tanque, veículo estacionado em desnível no pátio e acidentes com vazamento de reservatório de estoque desses combustíveis, tais como infiltração no solo ocasionado por rachaduras no piso da contenção. Estas ocorrências acabam sendo frequentes, e se não houver medidas imediatas, como contenção com barreiras físicas e/ou remediação da área impactada, o produto derramado pode migrar verticalmente e horizontalmente e atingir algum bem a proteger.

O acompanhamento atento da variação da espessura de LNAPL no poço pode mostrar quando pode estar ocorrendo um novo vazamento. Contudo, também é necessário acompanhar a variação do nível d'água, para averiguar se não está ocorrendo o aprisionamento do óleo, quando o mesmo sobe devido a períodos chuvas, ou no desaprisionamento de óleo em períodos de seca, quando o óleo desce e assim aumenta a espessura de fase livre.

Assim, a observação da espessura de fase livre em poço de monitoramento é de muita importância para: melhor dimensionamento do sistema de remediação, verificar se um novo vazamento ocorreu ou se se tem uma fonte ativa, na condução de atividades de investigação para a elaboração de projetos executivos de remediação.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

COMPOSTOS ORGÂNICOS DERIVADOS DO PETRÓLEO

De acordo com as características geológicas do local de onde é extraído, o petróleo bruto pode variar quanto à sua composição química e ao seu aspecto. Existem aqueles que tem altos teores de enxofre, enquanto outros podem ter altas concentrações de metais. Quanto aos aspectos físico-químicos, há petróleos viscosos e outros leves e fluidos, a depender do número de átomos de carbono existentes na sua composição. Nas refinarias, os petróleos pesados resultam em maiores volumes de óleos combustíveis e asfaltos, os intermediários resultam em derivados médios como o óleo diesel e o querosene, já os petróleos mais leves resultam em maior quantidade de gasolina, gás liquefeito de petróleo (GPL) e naftas.

O óleo diesel é um combustível líquido derivado de petróleo, composto por hidrocarbonetos com cadeias de 8 a 16 carbonos e, em menor proporção, nitrogênio, enxofre e oxigênio. É utilizado principalmente nos motores ciclo Diesel (de combustão interna e ignição por compressão) em veículos rodoviários, ferroviários e marítimos e em geradores de energia elétrica (ANP, 2021).

Conforme a ANP (2021), a produção de óleo diesel em 2020 foi de 42.215.122 m³. Para atender às diversas aplicações do produto, vários tipos de diesel são encontrados no mercado, onde, conforme a Resolução ANP nº 65/2011, são classificados em óleo diesel A e B. O primeiro é aquele produzido por processos de refino de petróleo, enquanto o segundo é aquele que tem biodiesel adicionado ao Tipo A. A nomenclatura dos óleos diesel é realizada conforme a quantidade de enxofre em mg/kg. Assim, por exemplo, o óleo que contém S10 na sua identificação, significa que ele contém 10 mg/kg de enxofre. No território nacional, a ANP (2020) estabelece:

- Óleo diesel (S10 e S500) de uso rodoviário:
 - Veículos automotivos;
 - Máquinas agrícolas;
 - Máquinas de construção;
 - Máquinas industriais.

- Óleo diesel S1800 de uso não rodoviário:
 - Mineração a céu aberto;
 - Transporte ferroviário;
 - Geração de energia elétrica, outorgada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) como produtor independente de energia ou serviço público.

O diesel é constituído de uma mistura de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTPs), incluindo os hidrocarbonetos monoaromáticos (BTEX) benzeno, tolueno, etilbenzeno, orto, meta e para-xilenos, e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), naftaleno, acenaftíleno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, dibenzo(a,h)antraceno, benzo(g,h,i) perileno, indeno(1,2,3-cd)pireno. É importante destacar que, nos EUA, a Environmental Protection Agency (EPA) determinou a inclusão destes 16 HPAs na lista dos contaminantes orgânicos prioritários, devido à elevada toxicidade e ao fato de serem resistentes à biodegradação (BOUZIGE et al, 1999; Kulkamp et al, 2002; IARC, 2010). O Anexo 1 mostra a Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico (FISPQ) do óleo diesel.

COMPORTAMENTO LNAPL EM SUBSUPERFÍCIE

A migração de NAPLs no subsolo é um grave problema ambiental, que podem atingir receptores onde causa riscos à saúde humana e ao ecossistema. O deslocamento é um fenômeno complexo, sendo alvo de diversos estudos (API, 2004).

Quando ocorre o vazamento de um óleo, o LNAPL migra sob a influência da gravidade no meio não saturado, onde deslocar a água e vapores dentro de um espaço poroso antes que possa migrar. A quantidade de óleo que atingirá o nível d'água dependerá do volume do vazamento. A espessura de fase livre depende do volume

vazado e do tipo de litologia da área (PEDE, 2009).

Para migrar lateralmente em meios porosos o LNAPL tem de deslocar, próximo ao nível d'água, tanto a água quanto o ar. Para que o LNPL se desloque, é necessário que as forças excedam a pressão capilar, onde o fluido não molhante (LNAPL) desloca o fluido molhante (água) do meio poroso, no caso da franja capilar. Na zona não

saturada, o LNAPL é o fluido molhante que desloca o ar (fluído não molhante) do meio poroso (CHARBENAU, 2007).

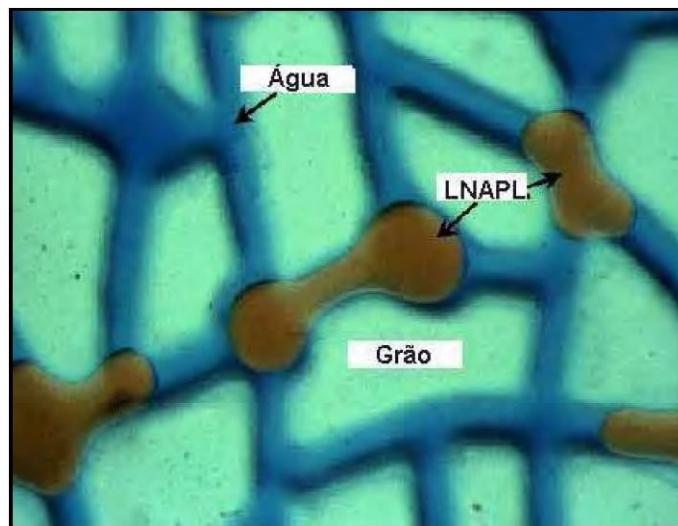
As forças capilares desempenham um papel importante no caso de fluxo de fluido multifásico em sistemas heterogêneos em camadas, onde em litologias de granulometria diferentes, o deslocamento e a espessura de fase livre se comportam diferentemente (PEDE, 2009). No que diz respeito ao deslocamento do fluido molhante pelo fluido não molhante, também referido como processo de drenagem, a pressão de entrada, ou seja, a pressão capilar mínima necessária para um fluido não molhante entrar num meio poroso, é de particular importância. A areia fina tem uma pressão de entrada mais alta do que a areia grossa; consequentemente, um fluido não molhante só penetrará em uma camada de areia fina saturada com o fluido molhante, se a pressão capilar tiver sido construída até o nível da pressão de entrada da areia fina (ITRC, 2021).

A variação do nível d'água em função da recarga/descarga do aquífero é um importante fator para se compreender o comportamento da pluma de fase livre. A natureza transiente da flutuação afeta a espessura do LNAPL no poço de monitoramento, bem como a mobilidade, estabilidade e remediação da pluma (API, 2004).

Segundo API (2004), o movimento ascendente do nível d'água faz com que o LNAPL seja deslocado pela água no meio poroso (processo de embebição). Parte do óleo é trapeado nos poros maiores na forma de gotas isoladas (Figura 1). O movimento ascendente faz com que o LNAPL se torne residual em partes superiores do meio poroso. Durante este processo observa-se uma diminuição da espessura de fase livre nos poços de monitoramento e em alguns casos ocorre o desaparecimento total (PEDE, 2009).

Para migrar lateralmente em meios porosos o LNAPL tem de deslocar, próximo ao nível d'água, tanto a água quanto o ar. É necessária uma pressão capilar positiva (coluna de LNAPL) para que o fluido não molhante (LNAPL) desloque o fluido molhante (água) do meio poroso. Ao mesmo tempo, o LNAPL age como fluido molhante deslocando o ar do meio poroso. O gradiente de pressão capilar criado faz com que o LNAPL migre para a porção do meio poroso preenchida por ar, gerando uma capilar de óleo acima do nível d'água (CHARBENAU, 2007).

Figura 1. Fenômeno de trapeamento de óleo no meio poroso.



Fonte: API (2004).

Quando ocorre o rebaixamento do nível d'água, uma certa quantidade de LNAPL fica aprisionada nos poros da zona não saturada, devido às forças capilares. Uma outra parte do LNAPL que encontrava-se trapeado, torna-se móvel, aumentando a espessura de fase livre no poço de monitoramento (PEDE, 2009). Este comportamento é explicado pelo fato de que a distribuição de um LNAPL no meio poroso é dada por um sistema trifásico: água (molhante), ar (não molhante) e o óleo (molhabilidade intermediária) (CHARBENAU, 2000).

Segundo Adamson (1982), o coeficiente de espalhamento Σ (equação 1) possibilita medir a tendência de espalhamento do LNAPL entre a interface ar-água.

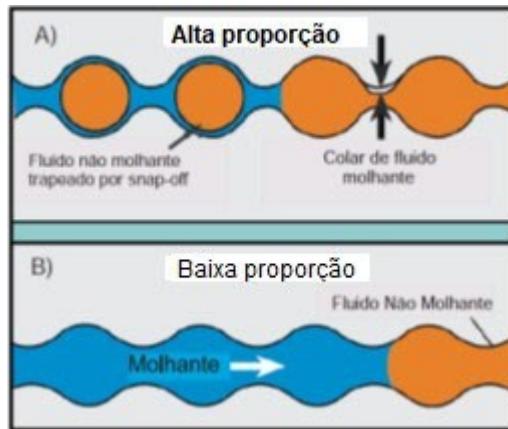
$$\Sigma = \sigma_{aw} - (\sigma_{nw} - \sigma_{an}) \quad \text{equação 1}$$

Nesta equação σ_{aw} , σ_{nw} e σ_{an} representam as tensões interfaciais ar-água, LNAPL água e ar LNAPL, respectivamente. Caso seja $\Sigma > 0$ o LNAPL se espalhará através da interface ar-água. Se o valor $\Sigma < 0$, o LNAPL ficará preso na interface ar-água (Pede, 2009).

Para Charbeneau (2000), a quantidade de LNAPL que permanece presa no meio poroso após deslocamento por um fluido molhante é chamada de saturação residual. Existem dois mecanismos de trapeamento de LNAPL no meio poroso: snap-off (retirar) e bypassing (contornar) (CHATZIS e DULLIEN.1983), como descrito a seguir:

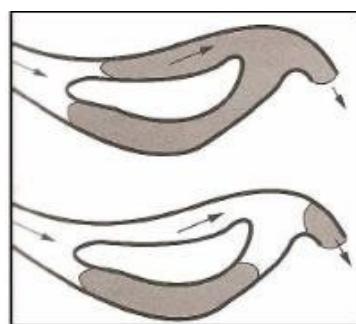
- O processo de snap-off (Figura 2A) ocorre durante o processo de embebição, em que o fluido não molhante (LNAPL) é deslocado pelo fluido molhante (água), e a razão entre o corpo e a garganta do poro é alta (*high aspect ratio*). Como a água é o molhante, o ângulo de contato que ela faz com as paredes dos poros é agudo (menos de 90°). Quando a água progride no poro, ela "rasteja" ao longo das paredes até atingir a garganta do poro. À medida que a borda de ataque da água entra na garganta, ela separa o fluido livre que permanece no poro do fluido em retirada. A instabilidade das interfaces (capilaridade) faz com que o LNAPL fique aprisionado na garganta do poro na forma de gota. A Figura 2 (B) mostra que a razão entre o corpo e a garganta do poro é pequena e, com isso, durante o processo de embebição o fluido não molhante não é afetado pela instabilidade capilar, evitando assim o fenômeno de *snap off* (PEDE, 2009).
- O processo de trapeamento de LNAPL, denominado *bypassing*, ocorre durante o processo de embebição em que o fluido molhante (água) desloca o fluido não molhante (LNAPL) através do poro menor mais rapidamente que pelo poro maior, fazendo com que o LNAPL fique aprisionado (Figura 3) (PEDE, 2009). A capilaridade controla o avanço do fluido molhante à medida que desloca o LNAPL. A água, portanto, avança muito mais rápido no tubo mais estreito, e a interface água-orgânica permanece estável na entrada do tubo mais largo.

Figura 2. Processo de embebição com fenômeno de *snap-off*. (A) com trapeamento; (B) sem trapeamento.



Fonte: adaptado de CHATZIZ et al (1983).

Figura 3. Processo de trapeamento de NAPL (*bypassing*)..



Fonte: adaptado de CHATZIZ et al (1983).

Segundo Pede (2009), Chatzis e Dullien (1983), o volume residual de LNAPL no meio poroso causado pelo mecanismo de *bypassing* é maior que o observado no mecanismo de *snap-off*.

A migração de um LNAPL em subsuperfície depende de diversos fatores, do meio físico e das propriedades do óleo. Os parâmetros para o entender o comportamento são: saturação, tensão interfacial e molhabilidade, pressão capilar (KEUPER, 2003; PEDE, 2009).

A fração do volume total de poros que pode ser ocupada por um fluido é denominada de saturação, que pode ser representada pela equação 2:

$$S = \frac{V_f}{V_t} \quad \text{equação 2}$$

Onde:

S = saturação;

V_f = volume do fluido nos poros;

V_t = volume total de poros.

A tensão interfacial é o principal fator que controla a molhabilidade, que está relacionada à tendência de um fluido se espalhar ou aderir a uma superfície sólida. O fluido com menor ângulo de contato (θ), que preferencialmente adere à superfície sólida, é chamado de fluido molhante. O ângulo de contato é o ângulo medido entre a superfície sólida e a interface presente no fluido molhante (PEDE,2009). A equação 3 da tensão interfacial pode ser dada por:

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SL} - \gamma_{SV}}{\gamma_{L7}} \quad \text{equação 3}$$

Onde:

θ = ângulo de contato líquido-sólido (>

0) γ_{SV} = Tensão interfacial sólido-vapor

γ_{SL} = Tensão interfacial sólido-líquido

γ_{L7} = Tensão interfacial líquido-vapor

É possível assumir, então, que a pressão capilar é positiva (ISRAELACHVILI, 1991) e definida como a diferença entre a pressão do fluido não-molhante e a pressão do fluido molhante. Considera-se que a pressão capilar está relacionada com a tensão interfacial, ângulo de contato e distribuição do tamanho dos poros, através da Equação 1 (Equação de Laplace para a ascensão capilar):

$$P_c = P_{nw} - P_w \quad \text{equação 4}$$

Onde:

P_c = pressão capilar

P_{nw} = pressão do fluido não molhante

P_w = pressão do fluido molhante

Logo, a pressão capilar pode ser calculada pela equação de Young (1805) e Laplace (1806) (ADAMSON, 1982):

$$P_c = \frac{2\sigma \cos(\theta)}{r} \quad \text{equação 5}$$

Onde:

P_c = pressão capilar

θ = ângulo de contato

r = raio médio da curvatura

σ = tensão superficial

Comportamento de fase livre de um LNAPL

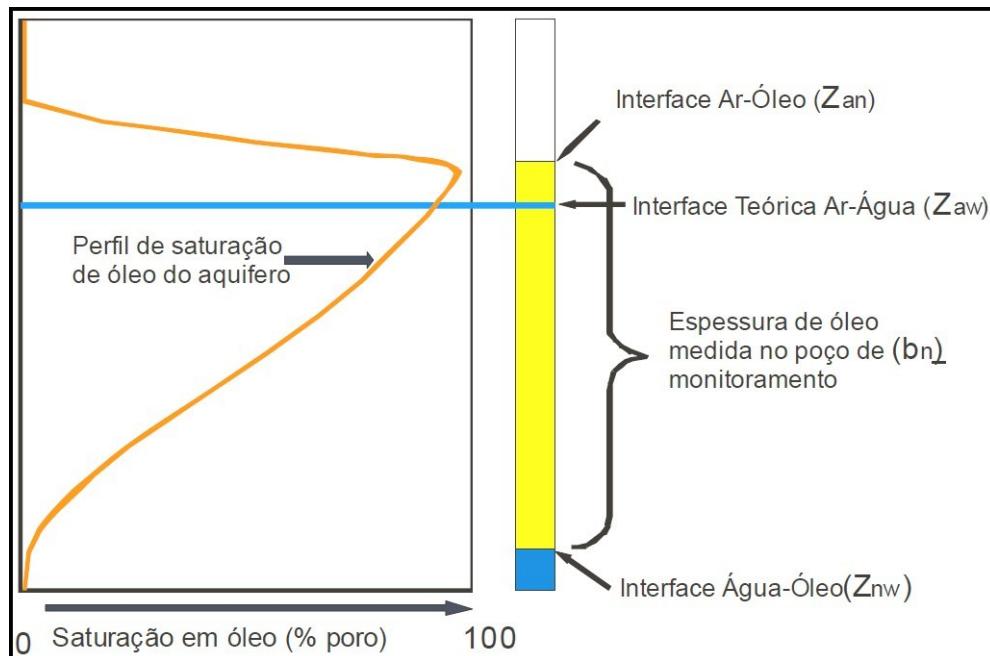
A identificação de fase livre na área se dá quando é realizada uma perfuração no solo, seja em uma sondagem ou até mesmo na instalação de poços de monitoramento. Para a avaliação da extensão da pluma de fase livre, por meio de poços de monitoramento, acaba sendo um processo de tentativa erro (MILLER, 2001; USEPA, 1997). A atenção ainda deve ser dada quanto ao posicionamento da seção filtrante do poço, que deve compreender tanto a zona saturada quanto a não saturada (FETTER, 1999).

O poço de monitoramento passa a apresentar uma camada sobrenadante de óleo, de espessura medida entre a interface ar-óleo e a interface óleo-água, chamada de espessura aparente (PEDE, 2009).

Os trabalhos de Farr et al. (1990) e Lenhard & Parker (1990) mostraram que o LNAPL não ocorre sob a forma de uma lente de óleo uniforme, conhecida na literatura como “panqueca” de óleo. O modelo conceitual proposto por esses trabalhos leva em

consideração a presença, ao longo do perfil do meio poroso, de três fases: ar, LNAPL e água. Ar, LNAPL e água coexistem no meio acima do nível d'água. LNAPL e água coexistem abaixo do nível d'água e a saturação decresce com a profundidade até atingir 100 % dos poros saturados em água (Figura 4) (PEDE, 2009).

Figura 4. Modelo conceitual de LNAPL em poço de monitoramento.



Fonte: modificado de API (2004).

A superfície superior da camada de óleo é denominada de interface ar– LNAPL (Z_{an}) e a superfície inferior é denominada de interface LNAPL-água (Z_{nw}); a espessura medida no poço de monitoramento é denominada bn . (PEDE, 2009). Segundo Charbeneau (2000), a interface teórica ar-água (Z_{aw}) pode ser calculada pela seguinte equação:

$$Z_{aw} = \rho_r Z_{an} + (1 - \rho_r) Z_{nw} \quad \text{equação 6}$$

Onde:

Z_{aw} = Altura da interface teórica ar/água;

Z_{an} = Altura da interface ar/LNAPL;

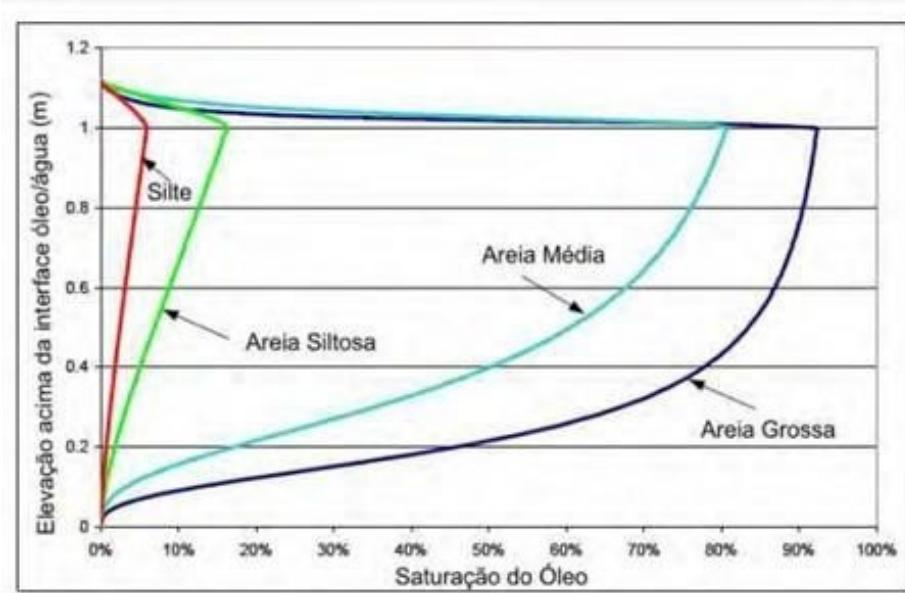
Z_{nw} = Altura da interface LNAPL/água;

ρ_r = densidade relativa (óleo/água).

Pede, (2009), Farr *et al.* (1990) e Lenhard & Parker (1990), utilizando a equação de van Genuchten (1980), mostraram que a saturação em LNAPL acima da interface LNAPL/água (Z_{nw}) é função da litologia, da distribuição da pressão capilar, da densidade relativa do LNAPL e da tensão interfacial entre óleo/água. Estes trabalhos mostraram que em diferentes perfis de solo, tem-se um comportamento diferente de saturação de óleo. Assim, como as espessuras de fase ligeira variam de acordo com a litologia e das características físicas do LNAPL. Huntley *et al.* (1994a; 1994b) e Lundergard & Mudford (1998) confirmaram, apartir de trabalhos realizados em campo, o perfil de distribuição do óleo na zona saturada.

A Figura 5 mostra a variação do perfil de saturação em óleo diesel para diferentes litologias. O perfil de saturação é baseado na espessura de um metro de óleo diesel no poço de monitoramento. O volume de óleo diesel presente na areia grossa é aproximadamente dez vezes maior que o volume de óleo presente no silte (PEDE, 2009).

Figura 5. Perfil de saturação de diesel em diferentes litologias.



Fonte: modificado de API, 2004

Conforme USEPA (1996), a recuperação de produto de fase livre depende de fatores como: propriedades físico-químicas do óleo, propriedades do meio geológico, capacidade de bombeamento da técnica de remoção, pressão capilar, oscilação do nível d'água. É importante destacar que mesmo que um vazamento se esgote, e um bombeamento da fase livre seja realizado, terá uma massa de óleo que não será recuperada, devido às forças capilares, formando assim a fase residual.

Sale (1997) apresenta uma equação de fluxo de fase livre, que foi baseada na lei de Darcy, que é mostrada a seguir:

$$Q_o = K_o k_{re} h_o w_{olo} \text{ equação 7}$$

Onde:

Q_o = vazão

K_o = condutividade hidráulica

k_{re} = permeabilidade

h_o = espessura da fase livre

w_{olo} = área de abrangência

i_o = gradiente hidráulico

Ainda, um LNAPL em subsuperfície, pode migrar até o nível d'água, e os seus compostos podem se particionar para fases vapor e dissolvida na água subterrânea.

ESTIMATIVA DE VOLUME DE PRODUTO EM FASE LIVRE

Conforme Miller (2001), o conhecimento do volume de um produto derramado e migrado em subsuperfície é importante para a eficácia do sistema de remediação para a remoção de fase livre, referente ao volume total recuperado e o tempo necessário para a sua remoção. Contudo, existem casos que o volume vazado não é conhecido, mas, conforme Miller (2001) e USEPA (1996), pode-se estimar a quantidade de óleo lançado pelo seguinte e as suas vantagens e desvantagens são informadas na Tabela 1:

- Dados de estoque: através da avaliação da quantidade de volume de óleo restante nos equipamentos de armazenamento;
- Espessura de fase livre no poço: o óleo (LNAPL) migra para dentro do poço até atingir o equilíbrio, assim, uma espessura aparente (diferença entre os níveis de óleo e água) poderá ser medida no poço ao longo do tempo;
- Extrapolação dos volumes de fase livre removidos: diferença entre o volume vazado e o recuperado é igual ao volume remanescente em subsuperfície.

Tabela 1. Métodos para estimar os volumes de fase livre removíveis

Métodos	Princípios	Vantagens	Desvantagens
Estimativa do volume baseado em dados de estoque	Revisão dos registros históricos para determinar o volume e a data do vazamento	Relativamente simples e preciso, desde que os registros e a forma de medição de estoque sejam precisos	Os dados raramente são precisos, proporcionando diversos erros associados as técnicas de medição, mudanças de volume em função da variação na temperatura, etc.
Estimativa do volume baseado nas espessuras de fase livre dos poços	Media das espessuras de fase livre em toda a rede de poços de monitoramento	As media da espessura das lâminas consiste num procedimento rotineiro; as medidas podem ser precisas; existem diversos métodos disponíveis para análise da dados	As espessuras medidas nos poços costumam ser maiores que as espessuras verdadeiras no aquífero e os métodos disponíveis para correlacionar os valores, tanto no campo como no laboratório, não são seguros
Estimativa do volume baseado em extrapolagens nos volumes de fase livre removidos	Somatória dos volumes extraídos e estimativa do volume residual	Os dados de remoção são precisos e rotineiramente coletados	Funciona melhor nos estágios terminais; diversos fatores podem influenciar na recuperação de produto

Fonte: adaptado de Miller (2001)

Parte do volume de óleo presente no subsolo pode ser recuperada por algumas técnicas de remediação. No entanto, a quantidade a ser removida por estas tecnologias será possível quando a saturação do LNAPL for superior à residual (PEDE, 2009).

Desta forma, o volume específico de LNAPL (D_n) pode ser determinado a partir da medição de sua espessura no poço de monitoramento, a partir da equação seguinte:

$$D_n (b_n) = \int_{Z_{nw}}^{Z_{max}} n S_n (z) dz \quad \text{Equação 8}$$

Nesta equação, n representa a porosidade total do meio poroso. O volume recuperável (R_n) de LNAPL pode ser determinado pela equação anterior, porém descontando-se o volume residual.

Conforme Miller (2001), a recuperação do LNAPL da subsuperfície refere-se ao volume de óleo que encontra-se móvel e assim disponível. Segundo Testa (1994), quando a recuperação de fase livre atinge 30% do volume derramado, pode ser considerado um sucesso, já segundo EPA (1996), o volume recuperável representa de 20 a 50 % do total vazado. Os fatores que interferem na capacidade de recuperação do óleo são: permeabilidade relativa, viscosidade, volume residual, distribuição em área da pluma de fase livre etc. A recuperabilidade do LNAPL em regiões onde a área da pluma é pequena e espessura alta, é mais efetiva que naquelas onde se tem lâminas de óleo em uma área muito extensa. (TESTA, 1994).

A quantidade relativa de massa presente em fase livre e residual é grande se comparada com a quantidade de massa dissolvida ou em fase de vapor. Os resíduos de hidrocarbonetos podem representar de 50 a 80% do volume total inicialmente vazado (MILLER, 2001; EPA, 1996).

A relação entre a fase livre e a residual tende a decair com o tempo em função da migração da pluma e outros processos que retém a fase livre (ex. oscilação do nível d'água). Quando a saturação chega próxima à residual, o produto em fase livre passa a não migrar mais e o óleo não se deslocará para dentro do poço de monitoramento. Neste momento o sistema de remediação, através de qualquer sistema de bombeamento, pode operar intermitentemente, ao invés de continuamente sem interrupção, ou ainda, até ser paralisado. Pequenas quantidades de óleo podem continuar a migrar para os poços, mas as taxas de aporte comumente não são suficientes para justificar a operação contínua do sistema de recuperação (EPA, 1996).

Os efeitos das heterogeneidades granulométricas na recuperabilidade da fase livre podem ser vistos em Waddill & Parker (1997a), onde para vazamentos pequenos, as heterogeneidades no solo tendem a diminuir a eficiência do processo de remoção da fase livre enquanto para grandes vazamentos, as heterogeneidades no meio poroso praticamente não influenciam o processo de remoção (MILLER, 2001).

O volume de produto em fase livre recuperável é significativamente menor que o volume derramado. Esse fato pode ser o resultado da ação conjunta de diversos fatores, entre eles a biodegradação e volatilização, porém o mais importante é a retenção capilar (Hunt et al, 1988).

SISTEMAS RECUPERAÇÃO DE PRODUTO EM FASE LIVRE

Um LNAPL em fase livre em subsuperfície pode ser removido por meio de bombeamentos. As técnicas de remediação comumente utilizadas para este tipo de remoção são bombeamento e tratamento e extração multifásica (MPE, do inglês *Multiphase Extraction*).

Conforme Miller (2001), um projeto de sistema de remediação para a recuperação de fase livre deve conter minimamente:

- Número, localização e profundidade dos poços de extração e de observação;
- Taxas de bombeamento;
- Seleção/ descrição da capacidade da bomba que será utilizada;

- Locais e tipo de recipientes para o armazenamento do óleo removido e da água bombeada.

BOMBEAMENTO E TRATAMENTO (P&T)

O sistema de bombeamento e tratamento é um dos métodos mais utilizados para a contenção hidráulica e tratamento de água subterrânea, além de extração de produto em fase livre (ITRC, 2021; MILLER, 2001). A coleta de fase livre e dissolvida é realizada simultaneamente por meio de poços de extração, onde são instaladas bombas para a captação dos líquidos. Os líquidos bombeados são serõose parados por uma caixa separadora água/óleo (MILLER, 2001).

Para o tratamento da fase dissolvida, em superficie, geralmente são utilizadas colunas de adsorção em carvão ativado. Sistemas de tratamento de água contaminada por air *air stripping* também são utilizados (USEPA, 2006).

Geralmente, as principais bombas utilizadas no bombeamento e tratamento são as pneumáticas e duplo diafragma (MILLER, 2001).

EXTRAÇÃO MULTIFÁSICA (MPE)

A técnica de extração multifásica (MPE — *Multi Phase Extraction*), utiliza-se do vácuo como força motriz para extração simultânea de fase-livre, fase dissolvida e vapores do solo. A ventilação causada pela extração de vapores aumenta a oxigenação no meio poroso, especialmente na zona não saturada do aquífero, estimulando também processos de biodegradação aerobia de compostos orgânicos. (U.S. ARMY, 1999).

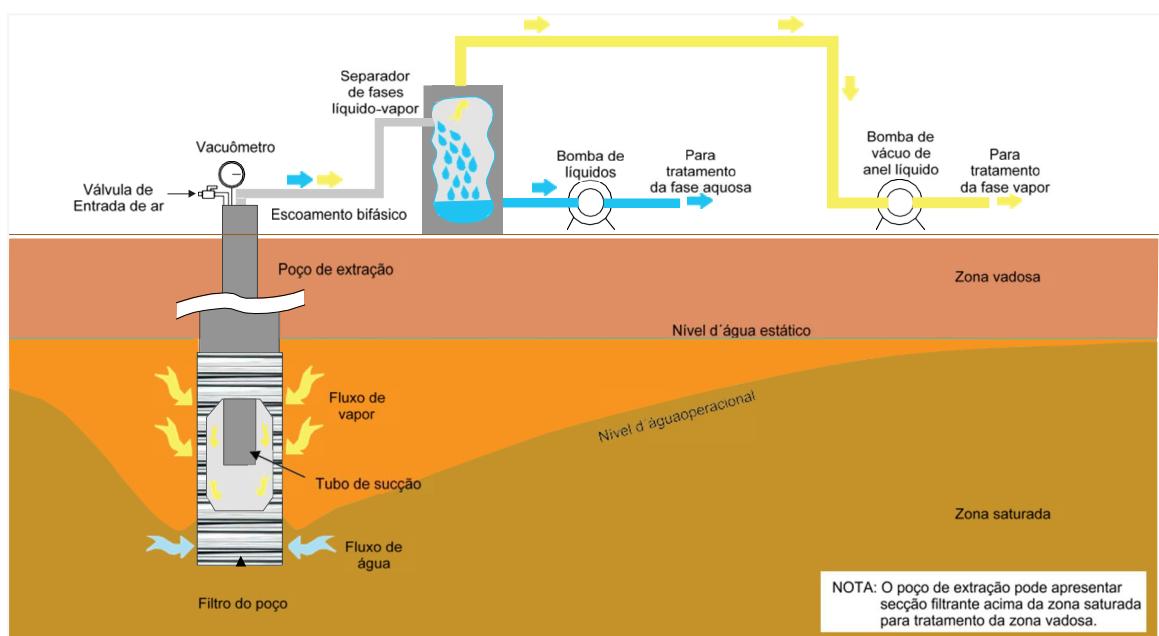
A técnica MPE foi desenvolvida para a remediação de solo e água subterrânea contaminados por compostos orgânicos voláteis (VOC's) e TPH (Total Petroleum hydrocarbons — hidrocarbonetos totais de petróleo), e teria surgido como aprimoramento de uma outra técnica, a extração de vapores do solo (SVE - *Soil Vapor Extraction*) (USEPA, 2006).

O MPE é uma denominação genérica para uma categoria de tecnologias de remediação “in situ” que utilizam vácuo para a extração simultânea de contaminantes em mais de uma fase (vapores, água e fase livre), em poços ou trincheiras, e pode ser dividido em três técnicas distintas, segundo terminologia definida por USEPA (1997): DPE (Dual-Phase Extraction), TPE (Two-Phase Extraction) e Bioslurping.

O DPE pode ainda ser subdividido em HVDPE (High Vacuum Dual Phase Extraction) e LVDPE (Low Vacuum Dual Phase Extraction). A diferença entre as duas modalidades é a faixa de vácuo em que operam: o HVDPE opera em uma faixa de vácuo variando de 460 a 660mmHg e o LVDPE opera em uma faixa de vácuo de 76 a 305 mmHg (USEPA, 2005).

No TPE, as três fases (vapor, água e fase livre) são extraídas na mesma tubulação de sucção, utilizando-se uma única bomba de vácuo ou compressor radial. Nesta técnica, o tubo de sucção é posicionado abaixo do nível d'água e a operação ocorre com alto vácuo (entre 460 e 660mmHg). A turbulência gerada no tubo de sucção facilita a transferência de massa de contaminantes da fase líquida para a fase vapor, obtendo-se eficiência de *stripping* superior a 98% (o processo de “*air stripping*” consiste na transferência de massa da fase aquosa para a fase gasosa) (USEPA, 1997). A Figura 6 apresenta a representação esquemática de um sistema TPE.

Figura 6. Esquema típico de um sistema DPE.



Fonte: modificado de USEPA (2005)

De modo geral, a decisão de se utilizar alto ou baixo vácuo dependerá das características geológicas e hidrogeológicas da área, e da disponibilidade e custo do tratamento posterior das fases extraídas. Se na área houver maior disponibilidade para tratamento da fase líquida, utiliza-se baixo vácuo para gerar menor turbulência e, consequentemente, maiores concentrações na fase aquosa. Se houver maior disponibilidade para tratamento da fase gasosa (como o envio para processos de

tratamento térmico ou catalítico existentes em refinarias, por exemplo), pode-se utilizar alto vácuo para promover maiores turbulências e ocasionar maiores concentrações de contaminantes na fase gasosa, ou seja, potencializando o stripping. (USEPA,2005).

5. MÉTODO

O trabalho foi realizado de acordo com as normas vigentes adotadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, que configura monografias científicas. Pesquisas bibliográficas foram realizadas por meio da literatura afim, sites de agências ambientais, artigos técnicos, consultas às normas e legislação, e busca no google acadêmico e periódicos CAPES.

Para as análises de informações específicas da área de estudo foi realizado o seguinte:

- Compilação de informações de investigação ambiental e da remediação da área de estudo;
- Monitoramento do nível d'água e óleo de poços com fase livre;
- Acompanhamento e compilação de informações sobre o volume de óleo extraído pelo sistema de remediação Bombeamento e Tratamento;
- Informações no site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) sobre dados pluviométricos na cidade de Niterói-RJ.

6. ÁREA DE ESTUDO

INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE A ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na cidade de Niterói no estado do Rio de Janeiro, e corresponde a uma garagem de ônibus, onde são desenvolvidas atividades como: lavagem, abastecimento de combustível, lubrificação, manutenção e reparação mecânica de veículos automotores.

O empreendimento teve sua operação iniciada em 24 de setembro de 1975 e atualmente permanece ativo, sendo sempre o mesmo uso e ocupação, ou seja, garagem de ônibus.

A área de estudo está inserida em uma zona urbana. O seu entorno é caracterizado por empreendimentos comerciais (empresas de engenharia, estaleiros, revendedora de produtos navais, frigorífico, revendedoras de equipamentos contra incêndios, entre outros) e, em menor quantidade, áreas residenciais.

Desde 2007, inicialmente com a avaliação preliminar, que na área vem sendo realizadas atividades do processo de gerenciamento de áreas contaminadas. A partir dos resultados desta primeira avaliação, verificou-se que a área era suspeita de contaminação. Então, investigações confirmatória e detalhada foram realizadas e assim se confirmou a presença de contaminantes no solo e água subterrânea, passando a ser classificada como área contaminada.

A área apresenta histórico de concentrações, em água subterrânea e solo acima dos valores orientadores (CONAMA 420/2009), para as seguintes substâncias químicas de interesse: criseno; benzo(a)antraceno, benzo(k)fluoranteno, benzo(g,h,i)perileno e TPH. Ainda, durante as investigações, foi identificada a presença de fase livre de óleo diesel em um poço de monitoramento instalado na área.

GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA

No município de Niterói estão presentes, de modo geral, dois litotipos distintos: granitoides e depósitos quaternários, de acordo com CPRM (2016). Os granitóides são denominados de Biotita Granito porfirítico foliado. Enquanto os depósitos quaternários são constituídos predominantemente por:

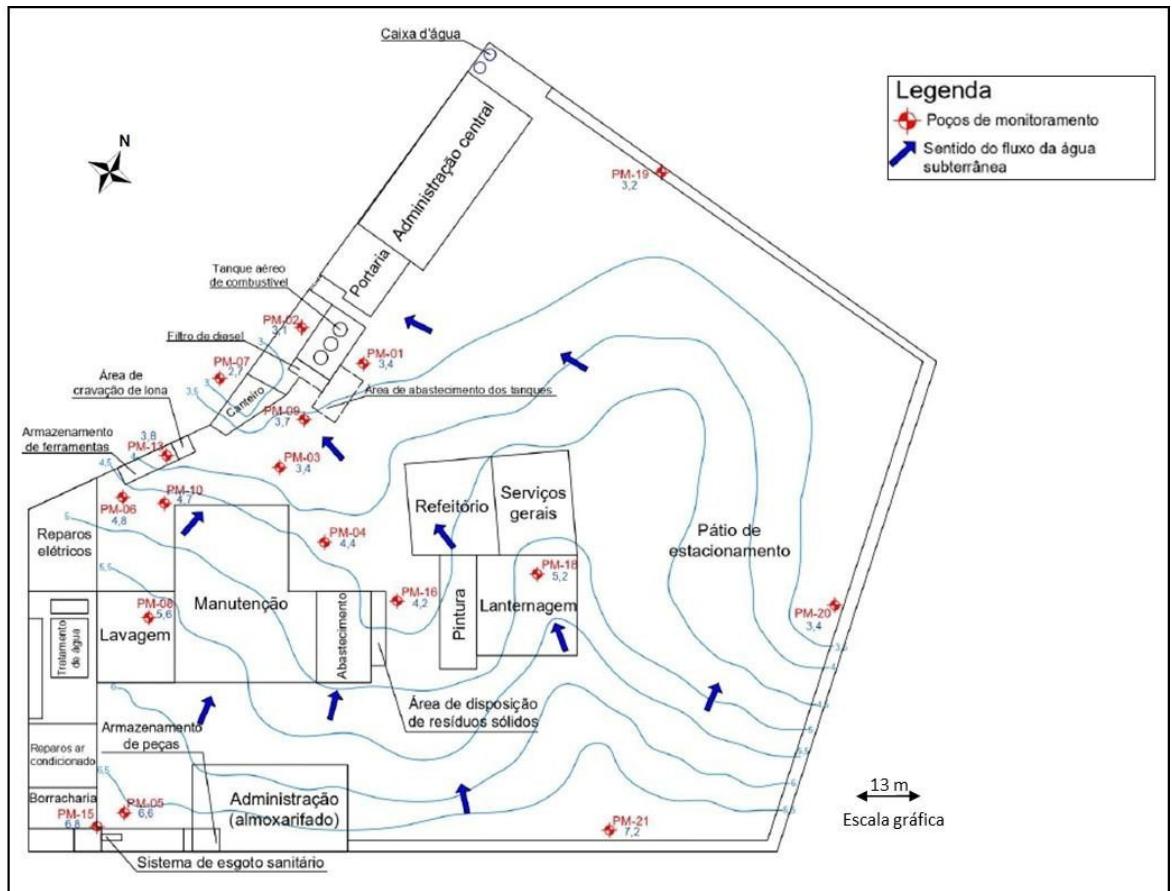
- Depósitos aluviais: localizados em planícies de inundação e locais onde há preenchimento de canal. São constituídos principalmente por sedimentos arenosos.
- Depósitos flúvio-marinhos: relacionados a pântanos e mangues. Compreende também a dinâmica lagunar e litorânea, característica da região próxima à Baía de Guanabara.

Localmente, na área de estudo, durante as atividades de investigação, cujas perfurações foram até no máximo 5 m, foi identificada a ocorrência de:

- Aterro com profundidade de até 2 m constituído de entulhos de construção civil e areia.
- Argila preta com material orgânico ainda em decomposição.

O nível d'água na área varia de 1,5 m a 2,2 m. O sentido preferencial do fluxo da água subterrânea é para oeste, como mostrado na Figura 7.

Figura 7. Mapa potenciométrico da área de estudo.



Fonte: autoria própria.

HISTÓRICO DO VAZAMENTO DO ÓLEO E DESCRIÇÃO DA REMEDIAÇÃO

Na área de estudo tem três tanques de diesel, sendo cada um com capacidade de 30 m³, onde estão instalados dentro de uma bacia de contenção em concreto. O fundo dos tanques é revestido de areia. O tanque do meio formou poros em sua base e o óleo passou a migrar para o subsolo, atingindo o nível d'água. Sequencialmente, ocorreu o rompimento do tanque, fazendo com que o óleo vazasse para a bacia contenção. Estimou-se, na ocasião, que o volume derramado foi igual a 5 m³. Isto ocorreu no em agosto de 2021.

Imediatamente, após o rompimento do tanque, o óleo que se encontrava na bacia de contenção foi drenado para a caixa Separadora de Água e Óleo (SÃO) da Garagem de ônibus.

Antes deste vazamento, durante as investigações, foi identificada fase livre no poço PM-02 (Figura 08). Por este motivo, as atividades de remediação já vinham sendo executadas desde setembro de 2020. Porém, o período compreendido para este trabalho foi de 20 de abril de 2021, a 23 de dezembro de 2021.

Figura 8. Foto da ocorrência de fase livre (poço PM-02).



Fonte: autoria própria.

Durante a operação da remediação, quando próximo a agosto de 2021, observou-se que a espessura de fase livre apresentava um aumento, no entanto, não tão significativo, sendo o valor máximo igual a 0,03 m no poço PM-02. Após o rompimento do tanque, observou-se que a espessura de fase livre no poço PM-02 passou a aumentar consideravelmente, chegando a uma espessura máxima de 0,9 m.

O sistema de remediação que opera na área é o bombeamento e tratamento, com a utilização de uma bomba do tipo *autopump* (bomba automatica) com captação superior. Os efluentes são destinados para uma caixa separadora água-óleo do sistema do próprio sistema de remediação. O tratamento da água, separada do óleo, é realizado com carvão ativado e depois enviada para a SAO da Garagem.

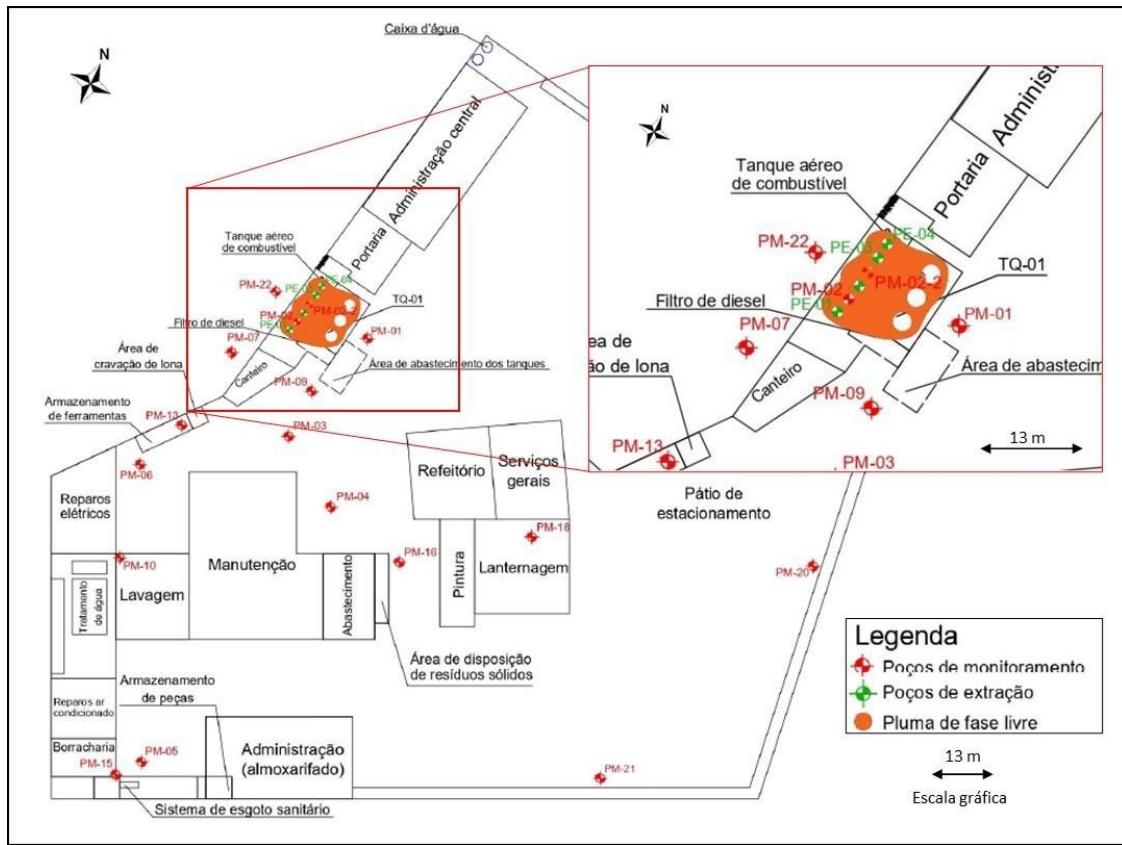
Antes do vazamento, apenas o poço PM-02 que era bombeado, após o acidente, instalou-se uma barreira com 06 poços de bombeamento, no alinhamento deste poço para melhor recuperação do produto.

6.3.1 Sistema de remediação e poços de bombeamento

Os poços de bombeamento perfurados têm profundidade aproximada de 3,5 metros, com seção filtrante de 3 m. Durante a instalação dos poços, não foi possível observar a profundidade do nível d'água, devido à presença de muito óleo. Os poços em bombeamento, além do PM-02 que já era bombeado antes do vazamento, também foram instalados mais 5 poços: PM-02-02, PE-01, PE-02, PE-03 e PE-04. A localização dos poços de bombeamento e a localização da fase livre pós vazamento são mostradas nas Figura 9 e 10.

O sistema de remediação é constituído de 01 caixa de separadora de 1 m³, duas colunas de carvão ativado colocadas sequencialmente e 06 bombas do tipo *autopump*.

Figura 9. Localização dos poços de bombeamento e da fase livre.



Fonte: autoria própria

Figura 10. Foto da localização dos poços de bombeamento.



Fonte: autoria própria

A jusante da pluma de fase, foi instalado um poço de monitoramento (PM-22) para averiguar a migração do óleo. Este poço foi construído com uma seção filtrante de 3,0 m, de modo que possibilitasse o deslocamento da fase livre para dentro dele.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A remediação do local contaminado se faz necessária em virtude de dois aspectos principais: os riscos associados à explosão e à segurança de um modo geral e os riscos à saúde humana, devido a exposição de substâncias perigosas que estão presentes no diesel. Assim, a ocorrência de um vazamento e consequentemente a identificação de fase livre, torna-se imprescindível uma ação corretiva imediata na área.

A área de estudo já vinha passando um processo de remediação, devido a identificação de fase livre em um poço da área (PM-02). Durante a operação de remediação, ocorreu um novo vazamento em um dos três tanques na área. Isto fez com que o sistema fosse expandido, passando o bombeamento de 01 para 06 poços.

Cronologicamente, para estes estudos, são apresentados os dados de monitoramento de fase livre da área no período de abril a dezembro de 2021, sendo que neste intervalo, ocorreu o rompimento do tanque de diesel em agosto de 2021, com um vazamento estimado de 5 m³.

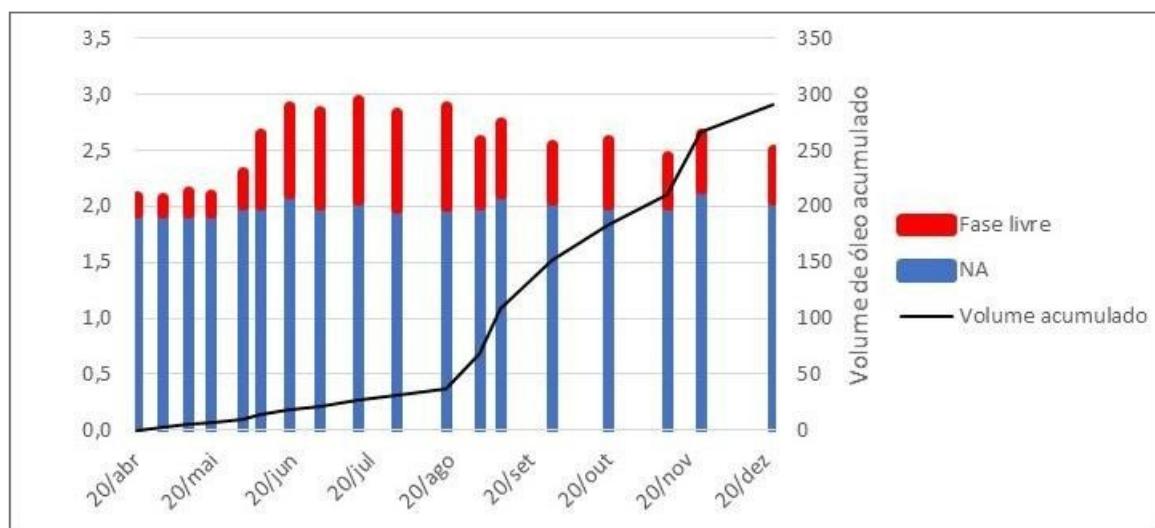
Como mostrado na Tabela 2 e gráfico da Figura 11 e Tabela 2, houve um aumento considerável da espessura de fase livre antes da ocorrência do rompimento do tanque. Conforme a Tabela 2, nos monitoramentos iniciais, de 20 abril até 19 de maio, a espessura variou de 0,15 m até 0,20 m, sendo que o primeiro sinal de aumento da espessura ocorreu em 31 de maio, onde passou a ter 0,30 m. Já, na medição de 07 de junho, a espessura dobrou atingindo 0,65 m. Aqui já era um indicativo que algum tipo de vazamento já estava ocorrendo. No entanto, foi apenas a partir do rompimento de um dos tanques que medidas de ampliação do sistema de remediação foi tomada.

Tabela 2. Dados de medições de óleo na área de estudo.

Data da medição	Nível d'água - Poço PM-02	Espessura de óleo - PM 02	Volume de óleo bombeado	Volume de óleo bombeado acumulado
	(metros)	(metros)	(Litros)	(Litros)
20-abr-21	1,94	0,15	0	0
30-abr-21	1,93	0,15	3,2	3,2
10-mai-21	1,93	0,2	1,8	5
19-mai-21	1,93	0,18	2,1	7,1
31-mai-21	2,00	0,3	2,8	9,9
7-jun-21	2,00	0,65	4,2	14,1
18-jun-21	2,10	0,8	3,6	17,7
30-jun-21	2,00	0,85	4,1	21,8
15-jul-21	2,05	0,9	5,2	27
30-jul-21	1,98	0,85	4,2	31,2
18-agosto-21	1,99	0,9	5,3	36,5
31-agosto-21	2,00	0,6	32,5	69
8-set-21	2,10	0,65	39,8	108,8
28-set-21	2,05	0,5	42,3	151,1
20-out-21	2,00	0,6	32	183,1
12-nov-21	2,00	0,45	27	210,1
25-nov-21	2,15	0,5	56	266,1
23-dez-21	2,05	0,45	25	291,1

Fonte: autoria própria.

Figura 11. Gráfico do nível d'água e espessura de fase livre.



Fonte: autoria própria

Na desmobilização do tanque, pode-se verificar que a sua base estava com bastante furo, o que provavelmente ocasionou o aumento de espessura de fase livre no poço PM-02, mas também do aumento da pluma de óleo diesel. Isto foi observado na construção dos poços de bombeamento adicionais. Contudo, o óleo ainda não apresentou muita migração lateral, pois ainda não se identificou fase livre no poço PM-22, localizado a jusante da área.

Logo, com a instalação destes poços de bombeamento adicionais em agosto de 2021, verifica-se um aumento considerável no volume de óleo bombeado, como pode-se observar nas Figuras 11 e 12 e na Tabela 2. Foi, então, que o volume bombeado passou de 5,3 L, em 18 de agosto para 32,5 L em 31 de agosto. Assim, a partir daí a curva de óleo bombeado acumulado passou a crescer consideravelmente. Ainda não é possível afirmar que a curva vai se estabilizar, no entanto, o observa-se que o seu ângulo passou a diminuir a partir da medição de final de novembro.

No dia 25 de novembro, o volume de óleo removido foi maior que as demais medições, correspondendo a 56 L. Pode-se dizer que no período quando antecedeu esta remoção, o nível d'água ficou mais profundo e propiciou o destapeamento do óleo, favorecendo assim, a sua remoção. Outra situação, pode estar relacionado ao fato de problemas na operação, pelo fato de que na remoção anterior, parte do volume de óleo pode ter ficado na caixa separadora.

O gráfico da Figura 13 mostra as precipitações mensais em estação pluviométrica instalada na cidade de Niterói – RJ, estação A627, onde os dados foram obtidos no INMET¹. O gráfico apresenta informações de abril a dezembro de 2021, que corresponde ao período contemplado neste estudo para a avaliação da oscilação da espessura de fase livre. Nesta Figura, pode-se constar que, na região, o período de junho a setembro, são aqueles que apresentaram menos chuvas, sendo setembro o mais seco com 9,8 mm. Os meses de outubro a dezembro são os mais chuvosos, sendo o último mês com precipitação igual a 131 mm.

Apesar do alto índice pluviométrico de outubro a dezembro de 2021, não houve muita alteração na oscilação nível de água na área, como pode ser observado na

¹ Dados consultados em 22/01/2022 no site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia): <https://portal.inmet.gov.br/>

Tabela 2. A pouca influência das chuvas na recarga do aquífero pode ser devido a maior parte do terreno da área de estudo e do entorno ser impermeável.

Figura 12. Gráfico do volume de óleo bombeado.

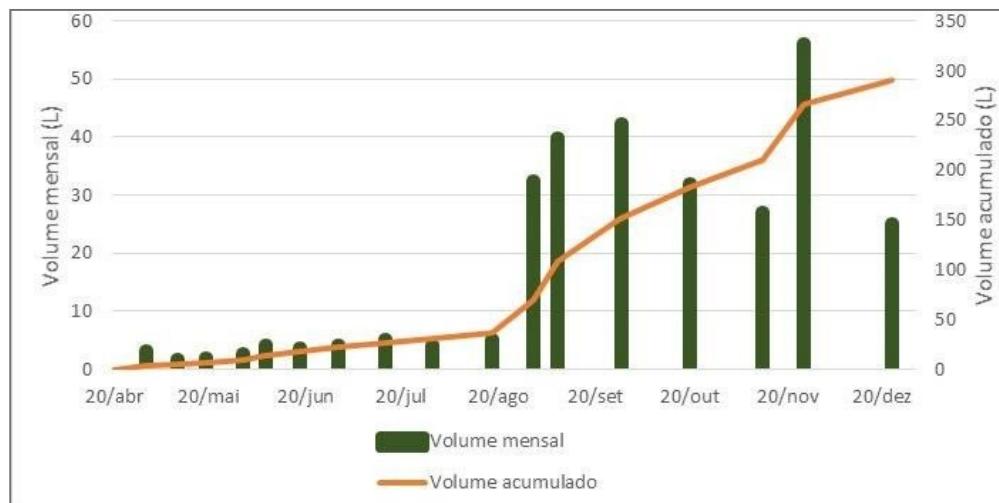
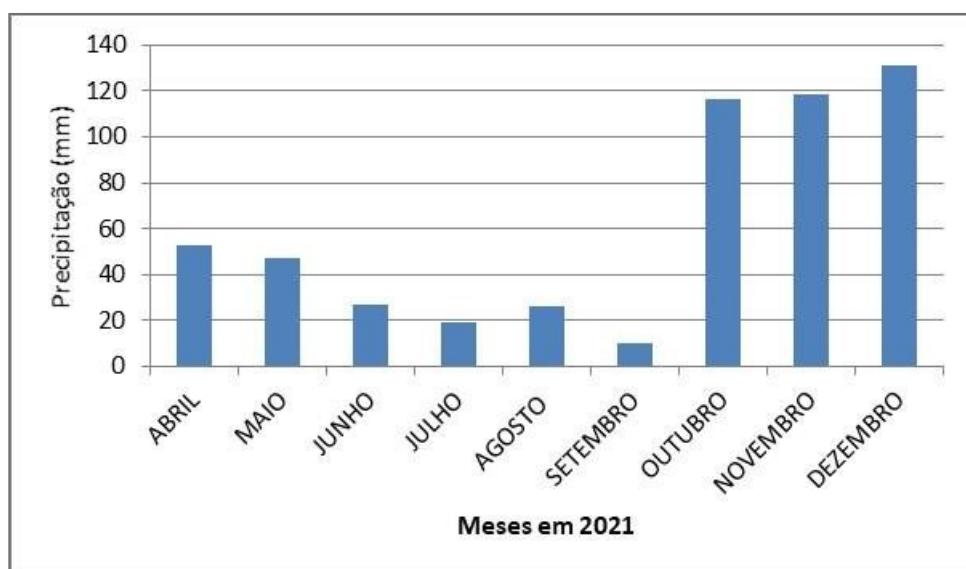


Figura 13. Gráfico pluviométrico do período de abril a dezembro de 2021.



Fonte: autoria própria

8. CONCLUSÃO

A área de estudo, localizada na cidade de Niterói, RJ, encontra-se contaminada com óleo diesel, e a remediação do local se faz necessária, pois apresenta riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Os resultados mostraram que um vazamento estava ocorrendo, antes mesmo do rompimento do tanque. Isto porque as espessuras de fase livre estavam aumentando a cada medição seguinte, passando de 0,15 m a 0,90. Tendo em vista que a oscilação do nível d'água foi muito pequena, o aumento da espessura não poderia estar relacionado ao efeito de aprisionamento do óleo nos poros. Os resultados também mostram que o volume de óleo bombeado ainda não chegou à sua estabilidade no mês de dezembro.

Este trabalho, mostra, então, o quanto que uma fonte ativa pode impactar uma área, como é o caso do tanque de diesel. Este tipo de situação deve ser sempre considerado, para melhor dimensionamento do sistema de remediação e principalmente para que medidas de contenção sejam tomadas.

Nos trabalhos de remediação, dentro do gerenciamento de áreas contaminadas, recomenda-se que o volume de produto que pode ficar aprisionado nos poros seja sempre estimado. Esta informação deve ser contemplada nas atualizações de modelos conceituais, para que novas ações corretivas sejam tomadas, como a indicação de novas técnicas de remediação, ou até mesmo medidas institucionais.

Outras informações importantes que se recomenda ter em um modelo conceitual na etapa de remediação, é a saturação residual, que pode ser obtida através de ensaios de curva de saturação com amostras de solo da área contaminada, e transmissividade do óleo no meio, que pode ser obtida através de testes de bombeamento e medição de recuperação de óleo no poço.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMSON, A.W. Physical Chemistry of Surfaces, 4 ed., New York: Wiley-Interscience, 1982.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil). Resolução ANP No 65, de 09 dezembro de 2011.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil). Óleo Diesel. Publicação em 09/11/2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/oleo-diesel>. Acesso em: 10/01/2022.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil). Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2021. 2021. Disponível em : <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2021/anuario-2021.pdf>. Acesso em: 29/01/2022.

API – American Petroleum Institute. Interactive, LNAPL Guide, Version 2.0. Version 2.0 User Guide for Data Retrieval, API Publication No. 4731, 2004.

BOUZIGE, M. PICHON, V., HENNION, M. Class- Selective immunosorbent for trace-level determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in complex sample matrices, used in off-line procedure or on-line coupled with liquid chromatography/ Fluorescence and diode array detections in series. Environ. Sci. Technol. v. 33, p. 1916-1925, 1999.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Decisão de Diretoria N° 125/2021/E, de 09 de dezembro de 2021. Dispõe sobre a Aprovação da Atualização da Lista de Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea. Diário Oficial [do] Estado de São Paulo: seção 1: Poder Executivo, edição n° 131(240), p. 60, 17 dec. 2021. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/12/DD-125-2021-E-Atualizacao-dos-Valores-Orientadores-paa-solo-e-aguas-subterraneas.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2021.

CHARBENEAU, R.J. Groundwater hydraulics and pollutant transport. Englewood Cliffs; Prentice Hall, 593 p. 2000.

CHATZIS, I.; DULLIEN, F. A. L. Dynamic immiscible displacement mechanisms in pore doublets :theory versus experiment. *Journal Colloid Interface Science*, v. 91, p.199. 1983.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil: Brasília, DF, nº 92, p. 89, 16 de maio de 2011.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro. 2016. Disponível em: <http://geosgb.cprm.gov.br/> Acesso em: julho de 2021.

FARR, A.M.; HOUGHTALEN, R.J.; McWHORTER, D.B. Volume estimation of light nonaqueous phase liquids in porous media, *Ground Water*, v.28, n.1, p.48-56, Jan.-Feb. 1990.

FETTER, C. W. Contaminant hydrogeology. 2. Ed. New York, Macmillan. 500p. 1999.

HUNT, J. R.et.al. Nonaqueous Phase Liquid Transport and Cleanup 1. Analysis of Mechanisms. *Water Resources Research – EUA* – v.24, n. 8, p. 1247 – 1258. 1988.

HUNTER, D. HANK. R. N. CORLEY, H. P. Nonaqueous phase hydrocarbon in a fine-grained sandstone: 1. Comparison between measured and predicted saturations and mobility. *Ground Water*, v. 32, n.4, p. 626-634. 1994a.

HUNTER, D.; WALLACE, J. W.; HAWK, R. N. Nonaqueous phase hydrocarbon in a fine-grained sandstone: 2. Effect of local sediment variability on the estimation of hydrocarbon volumes. *Ground Water*, v.32, n.5, p. 778-783. 1994b.

IARC - International Agency For Research On Cancer. Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans v.92 Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures. Lyon; 2010.

ISRAELACHVILLI, J. Intermolecular and Surface Forces. Chapter 9. Department of Chemical & Nuclear Engineering and Materials Department, University of California, Santa Barbara California, U.S.A., Academic Press, Second Edition, 1991.

ITRC- Interstate Technology and Regulatory Council. Integrated DNAPL Site Strategy. Disponível em <https://idss-2.itrcweb.org/4-treatment-technologies/>, acessado em 30 de dezembro de 2021. 2021

KULKAMP, M. S., CORSEUIL, H. X., DE AMORIM JR, C. J. Influência do etanol na biodegradação de hidrocarbonetos de petróleo em um aquífero contaminado com uma mistura de diesel etanol. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrânea. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS. 2002.

LENHARD, R.J.; PARKER, J.C. Estimation of free hydrocarbon volume from fluid levels in monitoring wells, Ground Water, v.28, n.1, p.57-68, p.418-426, Jan.-Feb. 1990.

MILLER, A. Remediação de fase livre de gasolina por bombeamento duplo: estudo de caso - São Paulo. 133f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

PEDE, M. A. Z. Flutuação do lençol freático e sua implicação na recuperação de hidrocarbonetos. Tese de Doutorado Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Rio Claro, 2009.

SALE, T. A. D. Mobile NAPL Recovery: Conceptual, Field, and Mathematical Consideration, Ground Water, EUA, v.35, n3., p.415-423. 1997.

TESTA, S. M. Geological Aspects of Hazardous Waste Management, EUA, Lewis Publishers CRC, Press, Inc., p.295- 328. 1994.

U.S. Army - US Army Corps of Engineers. Groundwater Hydrology. Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers Washington. 1999.

USEPA – Unites State Environmental Protection Agency. A Citizen's Guide to In Situ Soil Flushing. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, 1996.

USEPA – Unites State Environmental Protection Agency. Coast and Performance

Report for LNAPL Recovery - Multi-Phase Extraction and Dual- Pump Recovery of LNAPL at the BP Former Amoco Refinery, Sugar Creek, MO. (EPA 542-R-05-016). 2005.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. In Situ Treatment Technologies for Contaminated Soil: Engineering Forum Issue Paper. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, 2006.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.44, p.892-898, 1980.

WADDILL, D. W.; PARKER, J. C. Recovery of light, non-aqueous phase liquid from porous media: laboratory experiments and model validation. *Journal of Contaminant Hydrology*, v. 27, p. 127-155. 1997.

YOUNG, T. Um ensaio sobre a coesão dos fluidos. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 95, 65-87.
<http://dx.doi.org/10.1098/rstl.1805.0005>. 1805.

Anexo 1

Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico (FISPQ)



Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: ÓLEO DIESEL S 10

Página 1 de 10

Data: 13/12/2011

Nº FISPQ: BR0119

Versão: 1

Anula e substitui versão:

Todas as anteriores

1 - IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA

Nome do produto: ÓLEO DIESEL S10

Código interno de identificação: BR0119

Nome da empresa: PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A.

Endereço: Rua General Canabarro 500
20271-900 - Maracanã - Rio de Janeiro (RJ).

Telefone: 0800 78 9001

Telefone para emergências: 08000 24 44 33

2 - IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

PERIGOS MAIS IMPORTANTES:

Líquidos e vapores inflamáveis. Nocivo se inalado. Causa irritação à pele. Causa dano ao trato gastrointestinal, sistema nervoso central e pulmões se ingerido. Pode causar dano ao fígado e rins se ingerido. Pode causar sonolência e vertigem (efeitos narcóticos). Pode causar irritação respiratória (irritação da área respiratória). Pode ser mortal em caso de ingestão e por penetração nas vias respiratórias. Este produto contém gás sulfídrico, extremamente tóxico e inflamável.

EFEITOS DO PRODUTO

- Efeitos adversos à saúde humana:

O produto pode causar efeitos narcóticos e irritação respiratória se inalado. Pode causar irritação aos olhos. Causa dano ao trato gastrointestinal, sistema nervoso central e pulmões se ingerido. Pode causar dano ao fígado e rins se ingerido. Pode causar morte se aspirado.

- Efeitos ambientais:

Este produto pode apresentar perigo para o meio ambiente em casos de grandes derramamentos.

- Perigos físicos e químicos:

Líquidos e vapores inflamáveis.

- Perigos específicos:

Líquidos e vapores inflamáveis. Recipientes podem explodir se aquecidos. Quando aquecidos, este líquido libera gases irritantes e tóxicos.

- Principais sintomas:

Vermelhidão, dor e lacrimejamento ocular. Náuseas, vômitos e cólicas abdominais. Tosse e insuficiência respiratória severa. Tontura, vertigens, dores de cabeça, confusão mental, perda de consciência. Engasgos e dispneia.

- Classificação de perigo do produto:

Líquidos inflamáveis – Categoria 3

Toxicidade aguda – Inalação – Categoria 4

Corrosivo/irritante à pele – Categoria 2

Toxicidade sistêmica ao órgão-alvo após única exposição –

Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: **ÓLEO DIESEL S 10**

Página 2 de 10

Data: 13/12/2011

Nº FISPQ: BR0119

Versão: 1

Anula e substitui versão:

Todas as anteriores

Categoria 3

Perigo por aspiração – Categoria 1

- Sistema de classificação adotado:

Norma ABNT-NBR 14725-Parte 2:2009.

Adoção do Sistema Globalmente Harmonizado para a Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos, ONU.

- Visão geral das emergências:

LÍQUIDO INFLAMÁVEL E PERIGOSO PARA A SAÚDE HUMANA.

ELEMENTOS APROPRIADOS DA ROTULAGEM

- Pictogramas:



- Palavra de advertência:

PERIGO

- Frases de perigo:

Líquidos e vapores inflamáveis.

Nocivo se inalado.

Causa irritação à pele.

Causa dano ao trato gastrintestinal, sistema nervoso central e pulmões se ingerido.

Pode causar dano ao fígado e rins se ingerido.

Pode causar sonolência e vertigem (efeitos narcóticos).

Pode causar irritação respiratória (irritação da área respiratória).

Pode ser mortal em caso de ingestão e por penetração nas vias respiratórias.

- Frases de precaução:

Mantenha afastado de calor [faíscas] [e chama] [não fume].

Armazene em local fresco/baixa temperatura, em local bem ventilado [seco] [afastado de fontes de calor e de ignição].

Nunca aspire (poeira, vapor ou névoa).

Quando em uso não [fume] [coma] [ou beba].

Não use em local sem ventilação adequada.

Evite contato com olhos e pele.

Use equipamento de proteção individual apropriado.

Se ingerido, lave a boca com água [somente se a vítima estiver consciente].

Em caso de indisposição, consulte um médico.

Use meios de contenção para evitar contaminação ambiental.



Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: **ÓLEO DIESEL S 10**

Página 3 de 10

Data: 13/12/2011

Nº FISPQ: BR0119

Versão: 1

Anula e substitui versão: Todas as anteriores

Não permita o contato do produto com corpos d'água.

3 - COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÃO SOBRE OS INGREDIENTES

>>SUBSTÂNCIA DE PETRÓLEO

Grupo de substância de petróleo: Gasóleos: Óleo diesel

Gasóleos e óleos destilados são misturas complexas de petróleo, compostas primariamente de hidrocarbonetos saturados (parafínicos ou naftênicos) ou aromáticos com cadeia carbônica composta de 9 a 30 átomos de carbono e ponto de ebulição entre 150 e 471°C.

Número de registro CAS: 68334-30-5

Ingredientes que contribuem para o perigo:

Ingredientes	Concentração (%)	CAS
Composto sulfurado.	-	NA
Composto nitrogenado.	-	NA
Composto oxigenado.	-	NA
Enxofre	Máx 10 mg/Kg	NA

4 - MEDIDAS DE PRIMEIROS SOCORROS

Inalação:

Remova a vítima para local arejado e mantenha-a em repouso. Monitore a função respiratória. Se a vítima estiver respirando com dificuldade, forneça oxigênio. Se necessário aplique respiração artificial. Procure atenção médica. Leve esta FISPQ.

Contato com a pele:

Remova as roupas e sapatos contaminados. Lave a pele exposta com grande quantidade de água, por pelo menos 15 minutos. Procure atenção médica. Leve esta FISPQ.

Contato com os olhos:

Lave com água corrente por pelo menos 15 minutos, mantendo as pálpebras abertas. Retire lentes de contato quando for o caso. Procure atenção médica imediatamente. Leve esta FISPQ.

Ingestão:

Lave a boca da vítima com água em abundância. NÃO INDUZA O VÔMITO. Procure atenção médica. Leve esta FISPQ.

Proteção do prestador de socorros e/ou notas para médico:

Evite contato com o produto ao socorrer a vítima. Mantenha a vítima em repouso e aquecida. Não forneça nada pela boca a uma pessoa inconsciente. O tratamento sintomático deve compreender, sobretudo, medidas de suporte como correção de distúrbios hidroeletrolíticos, metabólicos, além de assistência respiratória.



Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: **ÓLEO DIESEL S 10**

Página 4 de 10

Data: 13/12/2011

Nº FISPQ: BR0119

Versão: 1

Anula e substitui versão:

Todas as anteriores

5 - MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO

- Meios de extinção apropriados:** Produto inflamável. Compatível com pó químico, dióxido de carbono (CO₂) e neblina de água.
- Meios de extinção não recomendados:** Jatos d'água. Água diretamente sobre o líquido em chamas.
- Métodos especiais de combate:** Contêineres e tanques envolvidos no incêndio devem ser resfriados com jatos d'água.
- Perigos específicos no combate:** Recipientes podem explodir quando aquecidos. Vapores podem se dispersar e atingir fontes de ignição e provocar chamas de retrocesso. Risco de explosão em ambientes fechados. Este produto contém gás sulfídrico, extremamente inflamável.
- Proteção de bombeiros/brigadistas:** Equipamento de proteção respiratória do tipo autônomo (SCBA) com pressão positiva e vestuário protetor completo.

6 - MEDIDAS DE CONTROLE PARA DERRAMAMENTO OU VAZAMENTO

Precauções pessoais

- Remoção de fontes de ignição:** Produto inflamável. Remova todas as fontes de ignição. Impeça fagulhas ou chamas. Não fume.
- Prevenção da inalação e do contato com a pele, mucosas e olhos:** Não toque nos recipientes danificados ou no material derramado sem o uso de vestimentas adequadas. Evite inalação, contato com os olhos e com a pele. Utilize equipamento de proteção individual conforme descrito na Seção 8.
- Precauções ao meio ambiente:** Evite que o produto derramado atinja cursos d'água e rede de esgotos. Utilize spray d'água para reduzir a concentração de fumos no ar. Utilize sistema de ar forçado para manter as concentrações degás abaixo da explosiva.

Métodos para limpeza:

- Procedimentos a serem adotados:** Colete o produto derramado e coloque em recipientes próprios. Adsorva o produto remanescente, com areia seca, terra, vermiculite, ou qualquer outro material inerte. Coloque o material adsorvido em recipientes apropriados e remova-os para local seguro.
- Prevenção de perigos secundários:** Não descarte diretamente no meio ambiente ou na rede de esgoto. A água de diluição proveniente do combate ao fogo pode causar poluição.

7 - MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

MEDIDAS TÉCNICAS APROPRIADAS PARA O MANUSEIO

- Prevenção da exposição do** Evite inalação e o contato com a pele, olhos e roupas. Evite respirar



Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: ÓLEO DIESEL S 10

Página 5 de 10

Data: 13/12/2011

Nº FISPQ: BR0119

Versão: 1

Anula e substitui versão: Todas as anteriores

trabalhador:

vapores/névoas do produto. Utilize equipamento de proteção individual ao manusear o produto, descritos na Seção 8.

Precauções e orientações para manuseio seguro:

Manuseie o produto somente em locais bem arejados ou com sistemas de ventilação geral/local adequado. Evite formação de vapores ou névoas.

Medidas de higiene:

Não coma, beba ou fume durante o manuseio do produto. Lave bem as mãos antes de comer, beber, fumar ou ir ao banheiro. Roupas contaminadas devem ser trocadas e lavadas antes de sua reutilização.

MEDIDAS TÉCNICAS APROPRIADAS PARA O ARMAZENAMENTO

Apropriadas:

Mantenha o produto em local fresco, seco e bem ventilado, distante de fontes de calor e ignição. O local de armazenamento deve conter bacia de contenção para reter o produto, em caso de vazamento. Mantenha os recipientes bem fechados e devidamente identificados. O local de armazenamento deve ter piso impermeável, não oxidante e com dique de contenção para reter em caso de vazamento.

Inapropriadas:

Temperaturas elevadas. Fontes de ignição. Contato com materiais incompatíveis.

Materiais seguros para embalagens:

Recomendadas:

Não especificado.

8 - CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL

Parâmetros de controle específicos

Limites de exposição ocupacional:

Ingredientes	TLV – TWA (ACGIH)	TLV – STEL (ACGIH)
Óleo diesel.	100 mg/m ³	-

Medidas de controle de engenharia:

Promova ventilação combinada com exaustão local, especialmente quando ocorrer formação de vapores/névoas do produto. É recomendado tornar disponíveis chuveiros de emergência e lavaolhos na área de trabalho.

Equipamento de proteção individual apropriado

Proteção respiratória:

Recomenda-se a utilização de respirador com filtro para vapores orgânicos para exposições médias acima da metade do TLV-TWA. Nos casos em que a exposição excede 3 vezes o valor TLV-TWA, utilize respirador do tipo autônomo (SCBA) com suprimento de ar, de peça facial inteira, operado em modo de pressão positiva. Siga orientação do Programa de Prevenção Respiratória (PPR), 3^a ed. São Paulo: Fundacentro, 2002.



Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: ÓLEO DIESEL S 10

Página 6 de 10

Data: 13/12/2011

Nº FISPQ: BR0119

Versão: 1

Anula e substitui versão:

Todas as anteriores

Proteção das mãos: Luvas de proteção de PVC.

Proteção dos olhos: Óculos de proteção com proteção lateral.

Proteção da pele e corpo: Vestimenta protetora adequada.

Precauções especiais: Evite usar lentes de contato enquanto manuseia este produto.

9 - PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Aspecto: Líquido límpido (isento de materiais em suspensão).

Odor: Característico.

pH: Não aplicável.

Ponto de fusão/ponto de congelamento: Não disponível.

Ponto de ebulação inicial e faixa de temperatura de ebulação: Não disponível.

Ponto de fulgor: 38 °C Mín.; Método NBR 7974

Taxa de evaporação: Não disponível.

Inflamabilidade: Produto inflamável.

Limite inferior/superior de inflamabilidade ou explosividade: Não disponível.

Pressão de vapor: Não disponível.

Densidade de vapor: Não disponível.

Densidade: 0,82 – 0,85 @ 20 °C; Método NBR-7148.

Solubilidade: Na água: Insolúvel.

Em solventes orgânicos: Solúvel.

Coeficiente de partição – n-octanol/água: Log kow: 7,22 (dado estimado).

Temperatura de auto-ignição: Não disponível.

Temperatura de decomposição: 400°C.

Viscosidade: 2,0 – 4,5 cSt a 40°C; Método D445/NBR-10441.

Outras informações: Faixa de destilação: 180 – 370 °C a 101,325 kPa (760 mmHg); Método NBR-9619



Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: **ÓLEO DIESEL S 10**

Página 7 de 10

Data: 13/12/2011

Nº FISPQ: BR0119

Versão: 1

Anula e substitui versão:

Todas as anteriores

10 - ESTABILIDADE E REATIVIDADE

- Estabilidade química:** Estável sob condições usuais de manuseio e armazenamento. Não sofre polimerização.
- Materiais/substâncias incompatíveis:** Agentes oxidantes.
- Produtos perigosos da decomposição:** Hidrocarbonetos leves e pesados e coque.

11 - INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS

- Toxicidade aguda:** Como depressor do sistema nervoso central, pode causar efeitos narcóticos como dor de cabeça e tontura. Pode causar confusão mental e perda de consciência em altas concentrações. O produto pode causar irritação das vias aéreas superiores se inalado causando tosse, dor de garganta e falta de ar. Causa irritação a pele com vermelhidão e dor no local atingido. Pode causar irritação ocular com vermelhidão, dor e lacrimejamento. Pode ser fatal se aspirado, causando pneumonia química. Pode causar a morte se ingerido ou inalado. Este produto contém gás sulfídrico, extremamente tóxico.
- DL50(oral, ratos): > 5000 mg/kg
DL50 (dérmica, coelhos): > 3000 mg/kg
- Toxicidade crônica:** Pode causar dermatite após contato repetido e prolongado com a pele.
- Efeitos específicos:** Carcinogenicidade: Suspeito carcinógeno humano (GHS e Regulamento (CE) Nº 1272/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho).

12 - INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS

Efeitos ambientais, comportamentos e impactos do produto

- Ecotoxicidade:** Em caso de grandes derramamentos o produto pode ser perigoso para o meio ambiente devido à possível formação de uma película do produto na superfície da água diminuindo os níveis de oxigênio dissolvido.
- Persistência e degradabilidade:** É esperada baixa degradação e alta persistência.
- Potencial bioacumulativo:** É esperado potencial de bioacumulação em organismos aquáticos.
Log kow: 7,22 (dado estimado).

13 - CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO

Métodos recomendados para tratamento e disposição aplicados ao:

- Produto:** Evite a exposição ocupacional ou a contaminação ambiental. Recicle qualquer parcela não utilizada do material para seu uso aprovado ou retorná-lo ao fabricante ou ao fornecedor. Outros métodos consultar



Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: ÓLEO DIESEL S 10

Página 8 de 10

Data: 13/12/2011

Nº FISPQ: BR0119

Versão: 1

Anula e substitui versão: Todas as anteriores

legislação federal e estadual: Resolução CONAMA 005/1993, NBR 10.004/2004.

Restos de produtos:

Manter restos do produto em suas embalagens originais, fechadas e dentro de tambores metálicos, devidamente fechados, de acordo com a legislação aplicável. O descarte deve ser realizado conforme o estabelecido para o produto, recomendando-se as rotas de processamento em cimenteiras e a incineração.

Embalagem usada:

Nunca reutilize embalagens vazias, pois elas podem conter restos do produto e devem ser mantidas fechadas e encaminhadas para serem destruídas em local apropriado. Neste caso, recomenda-se envio para rotas de recuperação dos tambores ou incineração.

14 - INFORMAÇÕES SOBRE O TRANSPORTE

Regulamentações nacionais e internacionais

Terrestre:

Decreto nº. 96.044, de 18 de maio de 1988: Aprova o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos e dá outras providências.

Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT): Resoluções Nº. 420/04, 701/04, 1644/06, 2657/08, 2975/08 e 3383/10.

Hidroviário:

DPC - Diretoria de Portos e Costas (Transporte em águas brasileiras)

Normas de Autoridade Marítima (NORMAM)

NORMAM 01/DPC: Embarcações Empregadas na Navegação em Mar Aberto

NORMAM 02/DPC: Embarcações Empregadas na Navegação Interior

IMO – “International Maritime Organization” (Organização Marítima Internacional)

International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG Code) – Incorporating Amendment 34-08; 2008 Edition.

Aérea:

DAC – Departamento de Aviação Civil: IAC 153-1001. Instrução de Aviação Civil – Normas para o transporte de artigos perigosos em aeronaves civis.

IATA – “International Air Transport Association” (Associação Nacional de Transporte Aéreo)

Dangerous Goods Regulation (DGR) – 51st Edition, 2010.

Nº ONU:

1202

Nome apropriado para o embarque:

ÓLEO DIESEL

Classe de risco:

3

Número de risco:

30



Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: **ÓLEO DIESEL S 10**

Página 9 de 10

Data: 13/12/2011

Nº FISPQ: BR0119

Versão: 1

Anula e substitui versão:

Todas as anteriores

Grupo de embalagem:

III

15 - REGULAMENTAÇÕES

Regulamentações:

Decreto Federal nº 2.657, de 3 de julho de 1998

Norma ABNT-NBR 14725-4:2009

Lei nº12.305, de 02 de agosto de 2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos).

Decreto nº7.404, de 23 de dezembro de 2010.

Produto sujeito a controle e fiscalização do Ministério da Justiça – Departamento de Polícia Federal – MJ/DPF, quando se tratar de importação, exportação e reexportação, sendo indispensável Autorização Prévia de DPF para realização destas operações.

16 - OUTRAS INFORMAÇÕES

Esta FISPQ foi elaborada baseada nos conhecimentos atuais do produto químico e fornece informações quanto à proteção, à segurança, à saúde e ao meio ambiente.

Adverte-se que o manuseio de qualquer substância química requer o conhecimento prévio de seus perigos pelo usuário. Cabe à empresa usuária do produto promover o treinamento de seus empregados e contratados quanto aos possíveis riscos advindos do produto.

Siglas:

ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists

CAS - Chemical Abstracts Service

DL₅₀ - Dose letal 50%

IARC – International Agency for Research on Cancer

STEL – Short Term Exposure Limit

TLV - Threshold Limit Value

TWA - Time Weighted Average

NA – Não Aplicável

Bibliografia:

[ACGIH] AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. Disponível em: <http://www.acgih.org/TLV/>. Acesso em: dezembro de 2010.

[ECB] EUROPEAN CHEMICALS BUREAU. Diretiva 67/548/EEC (substâncias) e Diretiva 1999/45/EC (preparações). Disponível em: <http://ecb.jrc.it/>. Acesso em: dezembro de 2010.

[EPI-USEPA] ESTIMATION PROGRAMS INTERFACE Suite - United States Environmental Protection Agency. Software.



Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: **ÓLEO DIESEL S 10**

Página 10 de 10

Data: 13/12/2011

Nº FISPQ: BR0119

Versão: 1

Anula e substitui versão:

Todas as anteriores

[HSDB] HAZARDOUS SUBSTANCES DATA BANK. Disponível em: <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB>. Acesso em: dezembro de 2010.

[IARC] INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. Disponível em: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>. Acesso em: dezembro de 2010.

[IPCS] INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY – INCHEM. Disponível em: <http://www.inchem.org/>. Acesso em: dezembro de 2010.

[IPIECA] INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION. Guidance on the application of Globally Harmonized System (GHS) criteria to petroleum substances. Version 1. June 17th, 2010. Disponível em: http://www.ipieca.org/system/files/publications/ghs_guidance_17_june_2010.pdf. Acesso em: dezembro de 2010.

[NIOSH] NATIONAL INSTITUTE OF OCCUPATIONAL AND SAFETY. International Chemical Safety Cards. Disponível em: <http://www.cdc.gov/niosh/>. Acesso em: dezembro de 2010.

[NITE-GHS JAPAN] NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY AND EVALUATION. Disponível em: http://www.safe.nite.go.jp/english/ghs_index.html. Acesso em: dezembro de 2010.

[PETROLEUM HPV] PETROLEUM HIGH PRODUCTION VOLUME. Disponível em: <http://www.petroleumhpv.org/pages/petroleumsubstances.html>. Acesso em: dezembro, 2010

[REACH] REGISTRATION, EVALUATION, AUTHORIZATION AND RESTRICTION OF CHEMICALS. Commission Regulation (EC) No 1272/2008 of 16 December 2008 amending and repealing Directives 67/548/EEC and 1999/45/EC, and amending Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council on the Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals.

[SIRETOX/INTERTOX] SISTEMA DE INFORMAÇÕES SOBRE RISCOS DE EXPOSIÇÃO QUÍMICA. Disponível em: <http://www.intertox.com.br>. Acesso em: dezembro de 2010.

[TOXNET] TOXICOLOGY DATA NETWORKING. ChemIDplus Lite. Disponível em: <http://chem.sis.nlm.nih.gov/>. Acesso em: dezembro de 2010.