

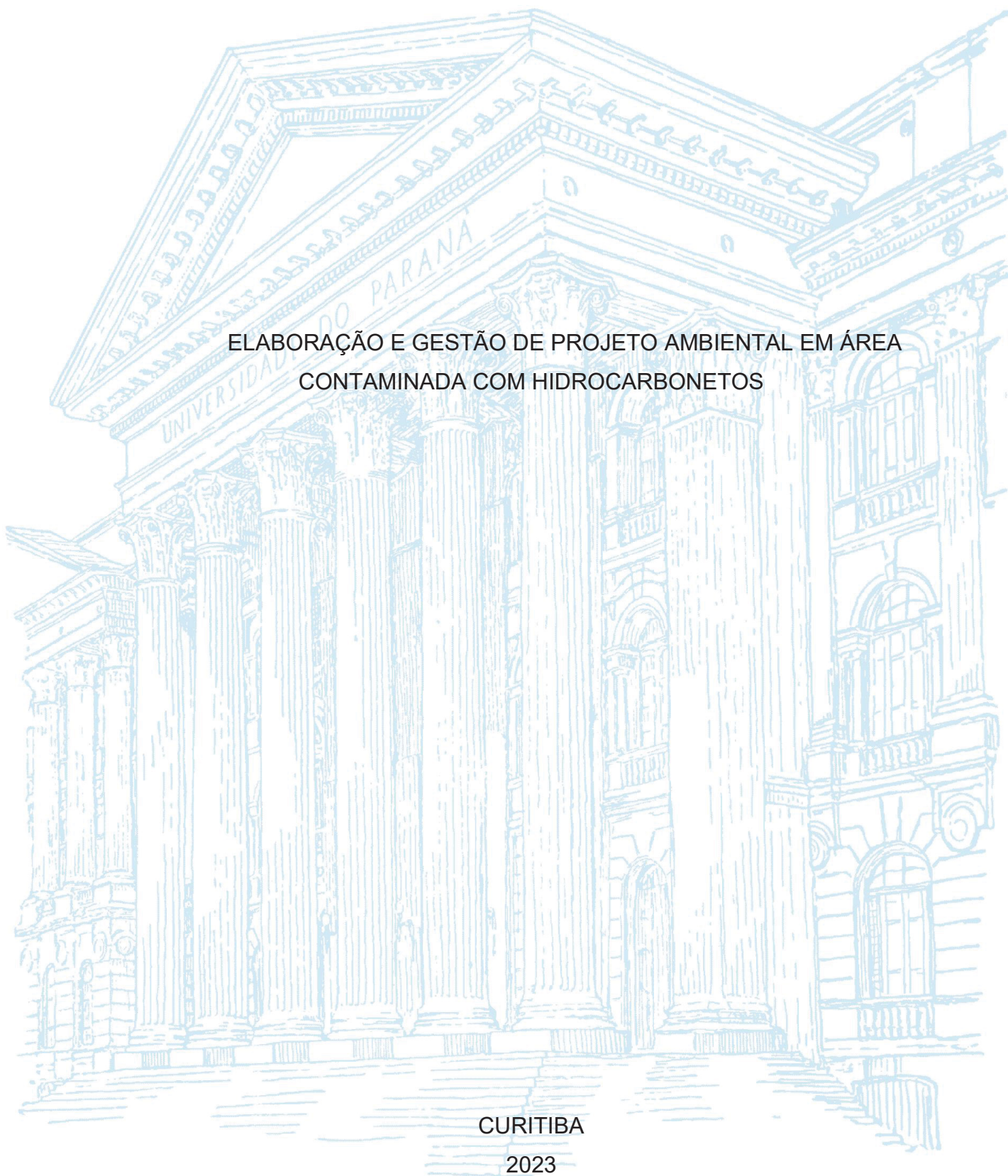
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNA MADEY DALAROSA

ELABORAÇÃO E GESTÃO DE PROJETO AMBIENTAL EM ÁREA
CONTAMINADA COM HIDROCARBONETOS

CURITIBA

2023



Bruna Madey Dalarosa

ELABORAÇÃO E GESTÃO DE PROJETO AMBIENTAL EM ÁREA CONTAMINADA
COM HIDROCARBONETOS

Relatório Técnico Científico Final apresentado ao curso de Pós-Graduação em MBA em Gestão Ambiental, Setor Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Augusto Abrahão Morato

CURITIBA

2023

RESUMO

Partindo do princípio que contaminação indica a presença de substâncias químicas no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização dos recursos ambientais para os usos atual ou pretendido, tem-se que o grande desafio dos projetos ambientais que envolvem áreas contaminadas por hidrocarbonetos, se deve ao fato das características dos produtos abrangidos, que por serem inflamáveis, menos densos que a água e pouco miscíveis, demandam ações adicionais, sendo necessário na maioria das vezes medidas de intervenção para à reabilitação da área em condições seguras. Em vista disso, este relatório técnico tem como finalidade, apresentar como ocorre o desenvolvimento e gerenciamento de um projeto ambiental em uma área contaminada com hidrocarbonetos, mostrando formas de controlar os impactos gerados no local, bem como, as possíveis técnicas a serem utilizadas, cronograma de trabalho e estimativas de custos, que contribuem para que ocorra a adequada remediação, proporcionando maior assertividade e efetividade no processo como um todo com a execução de forma planejada na descontaminação do local.

Palavras-chave: Projeto Ambiental; Área Contaminada; Remediação.

ABSTRACT

Based on the principle that contamination indicates the presence of chemical substances in the air, water or soil, resulting from anthropogenic activities, in such concentrations as to restrict the use of environmental resources for their current or intended uses, the great challenge of environmental projects involving areas contaminated by hydrocarbons is due to the characteristics of the products involved, which are flammable, less dense than water and not very miscible, requiring additional actions, most of which require intervention measures to rehabilitate the area in safe conditions. In view of this, the purpose of this technical report is to present how the development and management of an environmental project takes place in an area contaminated with hydrocarbons, showing ways of controlling the impacts generated at the site, as well as the possible techniques to be used, work schedules and cost estimates, which contribute to proper remediation, providing greater assertiveness and effectiveness in the process as a whole with the planned execution of the decontamination of the area.

Keywords: Environmental Project; Contaminated Area; Remediation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Processo de gerenciamento de áreas contaminadas.....	12
FIGURA 2 - Esquema representativo do destino do contaminante no solo e na água subterrânea.....	14
FIGURA 3 - Localização da região de implantação do projeto ambiental.....	17
FIGURA 4 - Etapas do gerenciamento de áreas contaminadas.....	18
FIGURA 5 - Os 3 pontos fundamentais da Metodologia Triad.....	19

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Técnicas de Remediação Utilizadas em Áreas Contaminadas	14
QUADRO 2 – Plano de Atividades Executadas no Empreendimento	20

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Estimativa de custo para 1 (uma) campanha de monitoramento ambiental, juntamente com a avaliação preliminar.....	21
TABELA 2 - Estimativa de custo para coleta e análise de 50 metros de sondagem de alta resolução para investigação confirmatória.....	22
TABELA 3 - Estimativa de custo para coleta e análise de 30 metros de sondagem para investigação detalhada e instalação e amostragens de poços de vapores e amostragens de ar ambiente.....	22
TABELA 4 - Estimativa de custo para coleta e análise de 2 (duas) amostras de ensaios de bancada.....	23
TABELA 5 - Estimativa de custo para 1 (um) ensaio piloto.....	23
TABELA 6 - Estimativa de custo para 1 (um) projeto de remediação com produto químico.....	23
TABELA 7 - Estimativa de custo para 4 (quatro) campanhas de monitoramento ambiental e 1 (uma) avaliação de risco a saúde humana.....	24

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

GAC	Gerenciamento de Áreas Contaminadas
IMA	Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina
CMA	Concentrações Máximas Aceitáveis
VRQs	Valores Orientadores de Referência de Qualidade, de Prevenção e de Investigação
AP	Área com Potencial de Contaminação
AS	Área Suspeita de Contaminação
AC	Área Contaminada
ACI	Área Contaminada sob Investigação
ACRI	Área Contaminada com Risco Confirmado
ACRE	Área Contaminada em Processo de Remediação
ACRU	Área Contaminada em Processo de Reutilização
AME	Área em Processo de Monitoramento para Encerramento
AR	Área Reabilitada para o Uso Declarado
AN	Área Não Contaminada
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos EUA
RA	Risco Aceitável
QR	Quociente de Risco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	10
1.2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
1.2.1	Gerenciamento de projetos ambientais.....	10
1.2.2	Gerenciamento de áreas contaminadas.....	11
1.2.3	Contaminação por hidrocarbonetos e técnicas de remediação.....	13
1.3	OBJETIVOS.....	16
1.3.1	Objetivo geral.....	16
1.3.2	Objetivos específicos.....	16
1.4	JUSTIFICATIVA.....	17
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	17
2.1	ÁREA DE ESTUDO.....	17
2.2	METODOLOGIA DE GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS..	18
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
3.1	PLANO DE ATIVIDADES DO PROJETO AMBIENTAL.....	19
3.2	ESTIMATIVAS DE CUSTOS DO PROJETO AMBIENTAL.....	21
4	CONCLUSÃO.....	24
	REFERÊNCIAS.....	25

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A Resolução N° 420, de 28 de Dezembro de 2009, dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

Desta forma, na ocorrência comprovada de concentrações naturais de substâncias químicas que possam causar risco à saúde humana, deve-se desenvolver ações específicas para a proteção da população exposta.

Após avaliar os resultados obtidos de análises realizadas na água subterrânea de uma área que fica localizada no estado de Santa Catarina, detectou-se a presença de hidrocarbonetos acima dos valores orientadores de referência de qualidade, de prevenção e de investigação (VRQs). Em função disso, elaborou-se um Projeto Ambiental, descrevendo as etapas necessárias desde a investigação preliminar até a execução da remediação do local e monitoramento para encerramento.

Para a elaboração do Projeto Ambiental foram seguidas as orientações da Instrução Normativa N° 74 – Recuperação de Áreas Contaminadas do Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA), a qual define a documentação necessária ao licenciamento e estabelece critérios para apresentação dos projetos ambientais a serem executados na recuperação e gerenciamento de áreas contaminadas, incluindo identificação, investigação e reabilitação da área.

1.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.2.1 Gerenciamento de projetos ambientais

Um projeto tem sua origem no interesse de resolver determinado problema ou necessidade, o que possibilita introduzir mudanças que proponham soluções e promovam melhorias. Sendo assim, para realizar um projeto de forma eficiente, se faz necessário aplicar conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas que

envolvem processos sequenciais de iniciação, planejamento, execução, controle, monitoramento e encerramento (TOMASELLI E SIQUEIRA, 2016).

De acordo com Morato (2023) na área ambiental, inicialmente, os projetos eram tidos como atribuição do setor público. Porém, na atualidade todos os segmentos da sociedade desenvolvem e implantam projetos ambientais, os quais têm, como objetivos, o controle, a minimização, a compensação e a fiscalização de atividades lesivas ao meio ambiente.

1.2.2 Gerenciamento de áreas contaminadas

O Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) é um processo técnico e administrativo que está previsto na legislação federal, por meio da Resolução CONAMA nº 420/2009 e em algumas legislações estaduais ou instruções normativas, como é o caso do estado de Santa Catarina, que possui a IN 74/2023 do IMA.

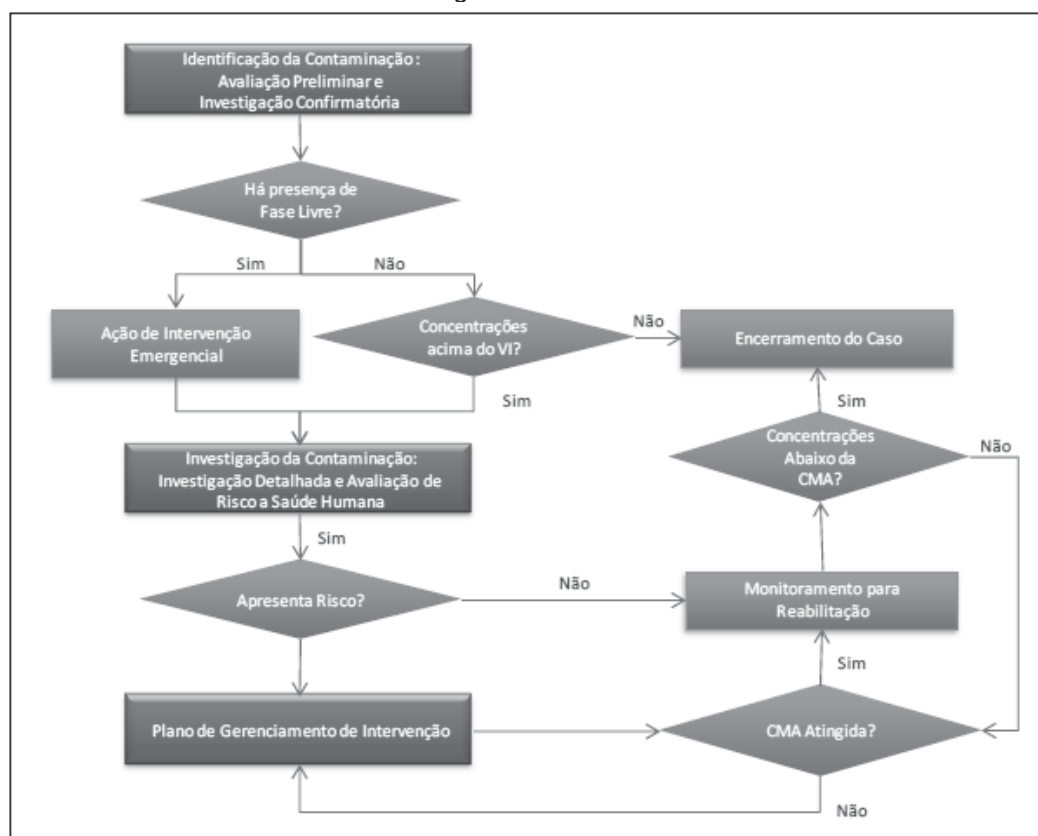
De acordo com Gloeden e Oliveira (2022), para realizar o gerenciamento satisfatório e obter a Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR), são aplicadas em uma região de interesse um conjunto de ações de identificação, caracterização e implementação de medidas de intervenção, com o objetivo de viabilizar o uso seguro, sendo possível dividir o GAC em dois conjuntos macros de ações:

- Processo de Identificação de Áreas Contaminadas: tem como objetivos identificar as Áreas Contaminadas (AC), determinar suas características, identificar e caracterizar os riscos ou danos aos bens a proteger a elas associados, possibilitando a decisão sobre a necessidade de adoção de medidas de intervenção.
- Processo de Reabilitação de Áreas Contaminadas: busca implementar as medidas de intervenção em AC, com o objetivo de viabilizar o uso proposto ou implementado de forma segura.

Todas as informações obtidas em cada uma das etapas devem ser armazenadas no cadastro de áreas contaminadas do estado, o qual é utilizado para dar publicidade às ações de Gerenciamento de Áreas Contaminadas na região de interesse e servindo também para apoiar as demais instituições que possuem obrigações relativas ao GAC (IMA, 2023).

Também é fundamental, para a adequada aplicação da política de GAC, a definição do Risco Aceitável (RA) para exposição humana. Conforme Resolução CONAMA nº 420/2009, fica definido 10^{-5} (dez elevado a menos cinco) como Risco Aceitável (RA) para exposição humana a substâncias cancerígenas e 1 (um) como Quociente de Risco (QR) para as substâncias não cancerígenas. Na Figura 1, apresenta-se o fluxograma das etapas do processo de GAC:

FIGURA 1 – Processo de gerenciamento de áreas contaminadas



FONTE: IMA (2018).

Ainda, durante a realização das etapas do GAC, em razão do nível das informações obtidas, dos riscos ou danos ou das medidas de intervenção adotadas, as áreas podem receber diferentes classificações, as quais definem a necessidade de continuidade ou de encerramento do GAC, sendo elas:

- Área com Potencial de Contaminação (AP);
- Área Suspeita de Contaminação (AS);
- Área Contaminada sob Investigação (ACI);
- Área Contaminada com Risco Confirmado (ACRi);
- Área Contaminada em Processo de Remediação (ACRe);

- Área Contaminada em Processo de Reutilização (ACRu).
- Área em Processo de Monitoramento para Encerramento (AME);
- Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR).

1.2.3 Contaminação por hidrocarbonetos e técnicas de remediação

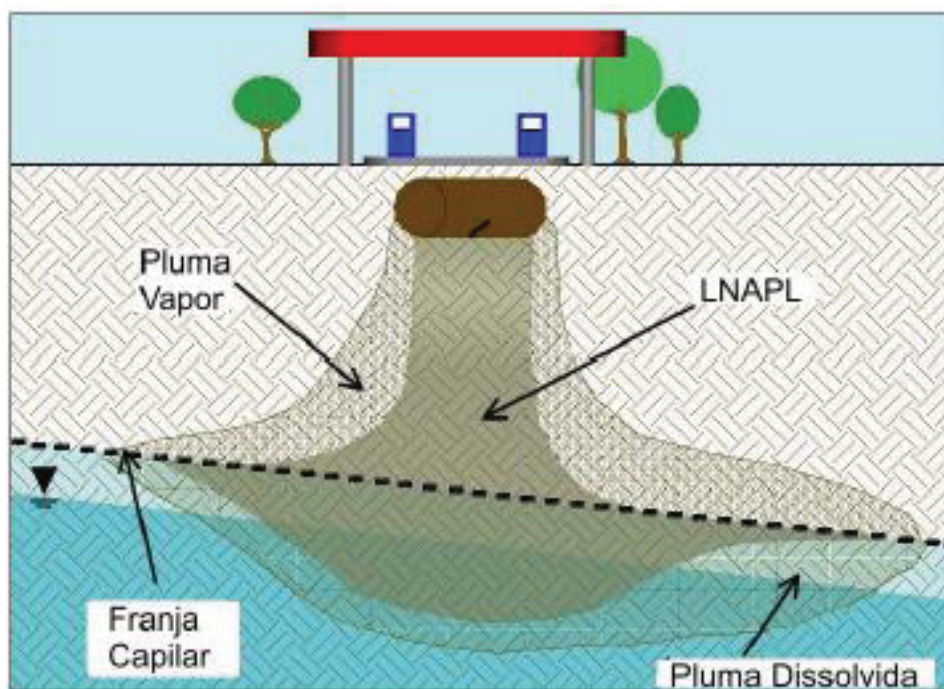
A composição do petróleo é uma mistura complexa de inúmeros compostos orgânicos, predominando os hidrocarbonetos saturados e aromáticos. As frações do petróleo compostas pelos hidrocarbonetos aromáticos são as mais tóxicas, especialmente o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno, conhecidos como BTEX, que podem causar sérios danos para a saúde humana e para o ecossistema atingido (MARQUES E GUERRA, 2012).

De acordo com a CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2016), uma das preocupações acerca da contaminação do solo é sua porosidade e permeabilidade, onde os contaminantes ali depositados podem, além de se acumularem no local, se mobilizarem por meio de mecanismos físicos, químicos ou biológicos, alcançando o nível freático. A água subterrânea contaminada pode posteriormente chegar aos reservatórios de água destinados ao abastecimento humano, industrial ou para irrigação agrícola.

A FIGURA 2 apresenta o esquema de contaminação provocado por um tanque subterrâneo de armazenamento de combustível.

Tendo que a dispersão no solo e na água dos contaminantes presentes nos combustíveis é influenciada tanto por suas características físico-químicas e biológicas quanto pelas características e propriedades do meio, deve-se considerar todas as variáveis envolvidas no sistema, assim como a interação entre elas para se definir o melhor procedimento para a remediação do local (FERREIRA, 2018).

FIGURA 2 - Esquema representativo do destino do contaminante no solo e na água subterrânea



(AESAS, 2022)

Sendo assim, a remediação pode ocorrer de forma direta, com a remoção do solo contaminado ou com a implementação de técnicas que irão contribuir para degradar, volatilizar ou reduzir os contaminantes no meio ambiente, garantindo que a remediação aproxime o local da condição natural.

No QUADRO 1 estão apresentadas algumas técnicas de remediação que são utilizadas nos procedimentos de intervenção em áreas contaminadas e visam eliminar compostos ou elementos prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente.

QUADRO 1 – TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO UTILIZADAS EM ÁREAS CONTAMINADAS

Técnica	Descrição	Limitações
Lavagem de solo	Utiliza líquidos, geralmente água e solvente, e processos mecânicos para extrair os contaminantes do solo.	Elevado custo e demanda alto consumo de solventes.
Extração de vapores	É uma tecnologia que promove a remoção de compostos orgânicos voláteis (COVs) da zona não saturada do solo por meio de aplicação de vácuo em poços próximos à fonte de contaminação.	Ineficaz para contaminantes de baixa volatilidade e para solos com baixa permeabilidade/porosidade devido às injeções de ar.

Técnica	Descrição	Limitações
Dessorção Térmica e Incineração	Envolve o aquecimento do solo a temperaturas que variam de 100 a 600 °C com o objetivo de promover a separação dos contaminantes orgânicos pela volatilização ou destruição.	Custos elevados. Pode existir a formação de gases de efeito estufa. O procedimento pode ser afetado pelo alto teor de umidade do local
Oxidação química	Tratamento que utiliza oxidantes químicos como ozônio, peróxidos, permanganatos e persulfatos, para decompor, reduzir ou eliminar a toxicidade dos contaminantes em solos e águas subterrâneas.	Pode ser limitado pela baixa permeabilidade do solo, altamente dependente do pH, e pode impactar a microbiota dependendo do oxidante utilizado.
Eletrocínética	É um método de remediação in situ que emprega o uso de baixos níveis de corrente elétrica direta entre os eletrodos posicionados ao longo da massa de solo a ser tratada.	É um procedimento demorado. Pode afetar a atividade microbiana devido à mobilização de nutrientes do solo e não sendo visto como um procedimento ambientalmente amigável.
Biorremediação	Por meio do metabolismo de microrganismos (bactérias e fungos), nativos ou exóticos à área contaminada, os contaminantes são degradados em compostos com menor ou sem toxicidade.	Longas durações de tratamento devido ao tempo de inoculação e/ou crescimento da microbiota.
Fitorremediação	Plantas são utilizadas para remediar áreas contaminadas por meio da degradação, extração, contenção ou imobilização dos contaminantes orgânicos e inorgânicos do solo e água subterrânea.	Longa duração, difícil de implementar devido à especificidade de absorção dos contaminantes da planta a ser utilizada.
Remoção de Solo	Ocorre a redução direta e imediata da massa de contaminantes em solo/águas subterrâneas. Sendo o tempo da atividade, relativamente curto.	Gera resíduo, tornando-se caro para grandes volumes. Há dificuldade em controlar os vapores durante a escavação e a falta de acesso vertical pode inviabilizar a tecnologia.
Atenuação natural monitorada (ANM)	Conhecida também como remediação intrínseca ou passiva, usa processos naturais que ocorrem na área contaminada com o objetivo	Longas durações de tratamento devido a limitação quanto à baixa biodegradabilidade dos compostos.

Técnica	Descrição	Limitações
	de reduzir as concentrações dos contaminantes, toxicidade, massa e/ou volume até níveis adequados à proteção da saúde humana e ao meio ambiente.	

FONTE: Adaptado de Ferreira (2018).

Ao confrontar as alternativas para gerenciamento de uma área contaminada, apresentam-se vantagens e desvantagens em seus sistemas, onde a escolha da técnica mais adequada baseia-se pela quantidade de resíduo a ser tratado, custos associados, entre outros fatores específicos de cada processo.

Geralmente, nenhuma tecnologia pode remediar uma área totalmente. De acordo com IPT (2014), normalmente diversas tecnologias de remediação são combinadas visando à descontaminação de uma área, sendo levados em consideração para isso os parâmetros geotécnicos das áreas, as condições de equilíbrio físico-químico e biológico do meio físico de interesse, a minimização e controle dos riscos, os custos envolvidos, entre outros.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Apresentar como ocorre o desenvolvimento de projetos de controle, minimização e gerenciamento de impactos ambientais em locais que possuem área contaminada com hidrocarbonetos, visando realizar de forma planejada a descontaminação do local.

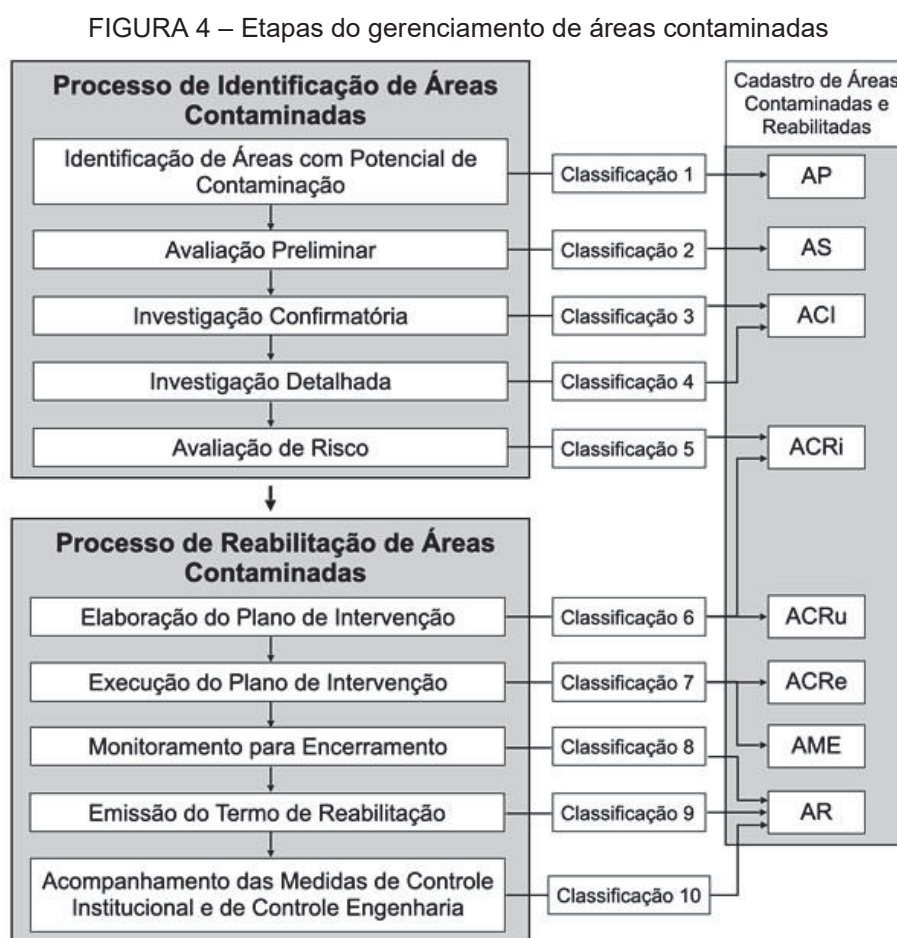
1.3.2 Objetivos específicos

- Definir as ações necessárias para a realização da remediação do local;
- Identificar custos estimados das ações;
- Apresentar cronograma de trabalho;
- Avaliação prévia da eficiência do projeto ambiental.

Portanto, para o projeto ambiental estão sendo seguidas as orientações da Instrução Normativa N° 74/2023 – Recuperação de Áreas Contaminadas do Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA) e a NBR 15515-1: passivo ambiental em solo e água subterrânea - parte 1: avaliação preliminar, NBR 15515-2: passivo ambiental em solo e água subterrânea - parte 2: investigação confirmatória e NBR 15515-3 avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea - parte 3: investigação detalhada.

2.2 METODOLOGIA DE GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS

De acordo com Gloeden e Oliveira (2022), tem-se que a metodologia de gerenciamento de áreas contaminadas baseia-se na estratégia constituída por etapas sequenciais, onde a informação obtida em cada etapa é a base para a execução da etapa posterior. A FIGURA 4 mostra esquematicamente as etapas do GAC:



FONTE: Gloeden e Oliveira (2022).

Desta forma, as atualizações dos modelos conceituais seguirão a metodologia *Triad*, a qual é considerada uma das melhores práticas para remediação de áreas contaminadas, sendo baseada em 3 pontos fundamentais (USEPA, 2004), conforme FIGURA 05:

FIGURA 05 - Os 3 pontos fundamentais da Metodologia *Triad*



FONTE: USEPA (2004).

Para que seja possível implementar esta metodologia na área de estudo, serão usados um conjunto de técnicas e ferramentas que permitem a caracterização da interação do contaminante com o meio físico em escala apropriada, com alta densidade de dados, sendo possível identificar e delimitar as unidades hidroestratigráficas, realizar a varredura vertical das SQIs, efetuar amostragens de solo e água e receber o suporte das decisões mais adequadas para a reabilitação da área.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PLANO DE ATIVIDADES DO PROJETO AMBIENTAL

A partir dos resultados obtidos do monitoramento ambiental que aconteceu no ano de 2021, na campanha de amostragem de água subterrânea de análises químicas dos parâmetros BTEX, PAHs, TPH Fingerprint e TPH Fracionado, identificou-se que as concentrações de alguns componentes presentes nas amostras dos poços de monitoramento, como benzeno, xileno e naftaleno, estavam

acima dos valores orientadores de qualidade da água subterrânea da Resolução N° 420, de 28 de Dezembro de 2009.

Diante disso, foram definidas as necessidades de gerenciamento ambiental baseando-se na avaliação do impacto potencial destas substâncias em função dos limites de intervenção dos órgãos de controle.

Desta forma, ao desenvolver o projeto ambiental no empreendimento, utilizou-se a metodologia de gerenciamento de áreas contaminadas, sendo organizado um cronograma de atividades para execução dentro do período de outubro de 2021 a janeiro de 2026, onde ficou estabelecido o plano de trabalho que está apresentado no QUADRO 2:

QUADRO 2 – PLANO DE ATIVIDADES EXECUTADAS NO EMPREENDIMENTO

Etapa	Atividade	Previsão de Início	Previsão de Término
Processo de identificação da área contaminada	Campanha de amostragem de água subterrânea	19/10/2021	19/10/2021
	Identificação da área com Potencial de Contaminação e Avaliação preliminar	19/10/2021	19/11/2021
	Relatório de monitoramento ambiental e avaliação preliminar	19/11/2021	10/12/2021
	Investigação confirmatória: Sondagem com a Técnica Direct Push para amostragem de solo em liner (ABNT 15.492)	17/01/2022	17/02/2022
	Coleta e envio de amostra de solo para análises químicas	17/01/2022	17/02/2022
	Ensaio de Bancada	18/02/2022	21/03/2022
	Instalação de poços de vapores	18/02/2022	19/02/2022
	Amostragem dos poços de vapores e dos pontos de ar ambiente	21/03/2022	21/03/2022
	Elaboração e entrega dos relatórios de alta resolução, ensaio de bancada e vapores.	21/03/2022	29/04/2022
	Campanha de amostragem de água subterrânea	01/06/2022	04/06/2022
	Investigação detalhada - Sondagem com a Técnica Direct Push para amostragem de solo em liner (ABNT 15.492)	21/06/2022	27/06/2022
Relatório de Monitoramento ambiental e avaliação de risco a saúde humana	01/08/2022	01/09/2022	
Processo de reabilitação de área contaminada	Elaboração do Plano de Intervenção	20/09/2022	27/09/2022
	Teste Piloto	04/10/2022	07/10/2022
	Relatório do Teste Piloto e Projeto Executivo de Remediação	10/10/2022	10/01/2023
	Remediação com produto químico	25/04/2023	09/05/2023
	Monitoramento para Encerramento	15/08/2023	15/01/2026

FONTE: O autor (2023).

Para a estruturação deste quadro, foram levados em consideração a sequência das etapas a serem realizadas em um gerenciamento de área contaminada, tempo de execução das mesmas e a disponibilidade de agenda de

equipes terceiras que iriam atuar no campo, no laboratório e na elaboração dos relatórios.

Além disso, verificaram-se técnicas que pudessem contribuir com a efetividade do gerenciamento, com análises detalhadas, como a metodologia *direct push*, que permite a identificação do perfil litológico, concentrações de compostos orgânicos voláteis e presença de hidrocarbonetos, e a remediação com oxidação química que realiza o tratamento da área decompondo a toxicidade dos contaminantes em solos e águas subterrâneas.

Durante a execução das atividades que já foram realizadas, percebeu-se que alguns fatores acabam atrapalhando o cronograma, como períodos longos de chuva durante as atividades em campo e reajustes de equipe para execução dos trabalhos tanto em campo quanto no laboratório.

3.2 ESTIMATIVAS DE CUSTOS DO PROJETO AMBIENTAL

Para as estimativas de custos do projeto ambiental, dividiu-se em etapas conforme a sequência realizada no gerenciamento de áreas contaminadas, iniciando-se pela campanha de amostragem de água subterrânea e seguindo-se pela identificação da área e avaliação preliminar (TABELA 1).

TABELA 1 – Estimativa de custo para 1 (uma) campanha de amostragem de água subterrânea para 15 poços de monitoramento, juntamente com a avaliação preliminar

Serviços	Unidade	Quantidade
Medição de índices físico-químicos em poços de monitoramento	unid.	1,00
Medição de nível d'água, fase livre e VOC em poços	unid.	1,00
Coleta e amostra de água para análises químicas – coleta convencional	unid.	15,00
Identificação da área com potencial de contaminação	unid.	1,00
Relatório de monitoramento analítico ambiental e avaliação preliminar	unid.	1,00
Mobilização de 100 a 300 km	unid.	1,00
Análise química de água: BTEX, PAH, TPH-Fingerprint e TPH Fracionado	amostra	15,00
Análise química de controle: branco de campo e branco de viagem	amostra	4,00
Valor Total Estimado		R\$ 15.500,00

FONTE: O autor (2023).

Após elaborar a avaliação preliminar, foi realizada a investigação confirmatória, sendo feito 50 metros de sondagem com a técnica *direct push* por toda a área do empreendimento. As estimativas de custos para esta etapa estão apresentadas na TABELA 2.

TABELA 2 – Estimativa de custo para coleta e análise de 50 metros de sondagem de Alta Resolução para investigação confirmatória

Serviços	Unidade	Quantidade
Supervisão com a Técnica Direct Push para amostragem de solo em liner (ABNT 15.492)	m	50,00
Supervisão Técnica para medição de compostos voláteis	unid.	4,00
Coleta de amostras de solo em liner para análises químicas	amostra	50,00
Remessa de amostras de solo para análise	unid.	1,00
Elaboração de Relatório de Investigação Confirmatória	unid.	1,00
Mobilização de 100 a 300 km	unid.	1,00
Análise de solo: TPH Fingerprint	amostra	50,00
Valor Total Estimado		R\$ 22.000,00

FONTE: O autor (2023).

Em sequência, realizou-se a investigação detalhada e a instalação de poços de vapores e o monitoramento dos mesmos, além da amostragem do ar ambiente, para assim obter dados que são necessários no diagnóstico da avaliação de risco a saúde humana. Na TABELA 3 seguem os custos estimados.

TABELA 3 – Estimativa de custo para coleta e análise de 30 metros de sondagem para investigação detalhada e instalação e amostragens de poços de vapores e amostragens de ar ambiente

Serviços	Unidade	Quantidade
Supervisão com a Técnica Direct Push para amostragem de solo em liner (ABNT 15.492)	m	30,00
Supervisão Técnica e medição de compostos voláteis - PID	unid.	4,00
Coleta de amostras de solo em liner para análises químicas	amostra	30,00
Remessa de amostras de solo para análise	unid.	1,00
Elaboração de Relatório de Investigação detalhada e avaliação de risco a saúde humana	unidade	1,00
Plano de Intervenção	unidade	1,00
Análise de solo: TPH Fingerprint	amostra	30,00
Instalação de poço contra piso do tipo Subslab (com acabamento)	m	3,00
Amostragem do ar ambiente	unid.	2,00
Amostragem de poço de contra piso do tipo Subslab	amostra	3,00
Relatório de instalação dos poços e monitoramento de vapores	unid.	1,00
Mobilização de 100 a 300 km	unid.	1,00
Análise de vapores:TO-15	amostra	5,00
Valor Total Estimado		R\$ 32.000,00

FONTE: O autor (2023).

Após avaliação detalhada, onde é realizado o fechamento de plumas e caracterização dos centros de massa de contaminação, realizou-se o ensaio de bancada em dois pontos distintos da área contaminada. O valor total obtido nesta etapa está apresentado na TABELA 4.

TABELA 4 – Estimativa de custo para coleta e análise de 2 (duas) amostras de ensaios de bancada

Serviços	Unidade	Quantidade
Sondagem com a técnica Direct Push para amostragem de solo liner (ABNT 15.492)	m	10,00
Coleta de amostra de solo para análises químicas	amostra	2,00
Coleta de amostra de água para análises químicas – coleta convencional	amostra	2,00
Remessa de amostra de solo e água para análise	unid.	1,00
Execução de ensaio de bancada para solo, água subterrânea e fase livre	unid.	1,00
Elaboração de relatório de ensaio de bancada	unid.	1,00
Mobilização de 100 a 500 km	unid.	1,00
Análises químicas de água: BTEX, PAH e TPH-Fingerprint	amostra	2,00
Análises químicas de solo: BTEX, PAH e TPH-Fingerprint	amostra	2,00
Execução de ensaio de determinação de SOD para solo	amostra	2,00
Valor Total Estimado		R\$ 21.500,00

FONTE: O autor (2023).

Com os resultados do ensaio de bancada, foi possível identificar a melhor técnica e produto a ser utilizado na área de estudo e assim realizar o teste piloto *in loco*. O valor estimado para esta etapa encontra-se na TABELA 5.

TABELA 5 – Estimativa de custo para 1 (um) ensaio piloto

Serviços	Unidade	Quantidade
Teste piloto em campo – Oxidação química in-situ	unid.	1,00
Relatório de ensaio piloto e Projeto executivo de remediação	unid.	1,00
Fornecimento e aplicação de produtos para tratamento químico	kg	230,00
Mobilização de 100 a 300 km	unid.	1,00
Valor Total Estimado		R\$ 31.000,00

FONTE: O autor (2023).

Após obter os resultados do teste piloto, realizou-se o projeto executivo de remediação e dimensionou-se a quantidade a ser aplicada de produto no local. A estimativa de custo segue abaixo na Tabela 6.

TABELA 6 – Estimativa de custo para 1 (um) projeto de remediação com produto químico

Serviços	Unidade	Quantidade
Gerenciamento de projeto	H.H.	40,00
Supervisor de campo	Diária	7,00
Sondagem com a técnica Direct Push com ponteira de injeção (ABNT 15.492)	m	100,00
Medição de Nível d'água, fase livre e VOC em poços	poço	15,00
Fornecimento e aplicação de produtos para tratamento químico	kg	2.500,00
Relatório de avaliação de desempenho da Remediação S-ISCO	unid.	1,00
Mobilização de 100 a 300 km	unid.	1,00
Valor Total Estimado		R\$ 105.000,00

FONTE: O autor (2023).

Como pode-se observar, esta etapa do gerenciamento apresenta um custo bem elevado, evidenciando-se a importância de realizar um projeto ambiental considerando o planejamento financeiro também.

Depois de realizada a remediação da área, se não foi caracterizada situação de risco e não foi determinada ocorrência de concentrações máximas na área de interesse acima das concentrações máximas aceitáveis (CMA), inicia-se o processo de monitoramento de encerramento, sendo necessário o acompanhamento da área por pelo menos dois anos, onde avalia-se, por meio da realização de quatro campanhas de amostragem e análise, a manutenção das concentrações de contaminantes abaixo das CMA definidas para a área de interesse. Para esta etapa, o custo estimado está apresentado na TABELA 7.

TABELA 7 – Estimativa de custo para 4 (quatro) campanhas de monitoramento ambiental e 1 (uma) avaliação de risco a saúde humana

Serviços	Unidade	Quantidade
Medição de índices físico-químicos em poços de monitoramento	unid.	4,00
Medição de nível d'água, fase livre e VOC em poços	unid.	4,00
Coleta e amostra de água para análises químicas – coleta convencional	unid.	60,00
Relatório de monitoramento analítico ambiental e avaliação de risco	unid.	4,00
Mobilização de 100 a 300 km	unid.	4,00
Análise química de água: BTEX, PAH, TPH-Fingerprint e TPH-Fracionado	amostra	60,00
Análise química de controle: branco de campo e branco de viagem	amostra	16,00
Valor Total Estimado		R\$ 65.000,00

FONTE: O autor (2023).

Nesta fase de encerramento, podem surgir adversidades como a ocorrência de concentrações acima das CMAs. Por isso, todos os envolvidos ao projeto precisam estar cientes e avaliarem as medidas a serem adotadas caso isto venha acontecer, como redefinir os prazos relativos ao desenvolvimento do plano de monitoramento para encerramento ou implantar medidas de intervenção de curto, médio e longo prazo.

4 CONCLUSÃO

Com base no projeto ambiental implantado em uma área contaminada com hidrocarbonetos, é possível identificar a importância de seguir uma metodologia, a qual permite o desenvolvimento das atividades em etapas sequenciais,

possibilitando um melhor planejamento e maior controle dos impactos gerados pelas ações, bem como a programação dos custos, da duração de cada serviço e das melhorias a serem feitas.

Foi mostrado pelo cronograma de trabalho que se exige da equipe envolvida um longo período de dedicação e acompanhamento das atividades, além disso, identificou-se que as etapas de remediação e monitoramento para encerramento são fases em que geram custos mais elevados, evidenciando desta forma a importância de se realizar antecipadamente o planejamento das ações.

Ao avaliar os resultados da primeira campanha de amostragem de água subterrânea dos poços de monitoramento após a execução da remediação no local da área contaminada do estudo, tem-se que a aplicação de produto já proporcionou a redução nas concentrações de contaminantes presentes na área. No entanto, salienta-se que seguindo o plano de trabalho, atualmente a etapa em execução é o monitoramento para encerramento a qual acontece de agosto de 2023 até janeiro de 2026, ocorrendo dentro desse período a realização de mais três campanhas de amostragem de água subterrânea para comprovar a eficiência final do projeto ambiental.

REFERÊNCIAS

AESAS. Associação Brasileira das Empresas de Consultoria e Engenharia Ambiental. **Gerenciamento de Áreas Contaminadas por LNAPL**, São Paulo, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15515-1**: passivo ambiental em solo e água subterrânea - parte 1: avaliação preliminar, Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15515-2**: passivo ambiental em solo e água subterrânea - parte 2: investigação confirmatória, Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15515-3**: avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea - parte 3: investigação detalhada, Rio de Janeiro, 2013

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB) **Conceitos sobre Transporte de Substâncias nas Zonas não Saturada e Saturada**, Seção 1.5 São Paulo, 2016. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/conceitos-sobre-transporte-de-substancias-nas-zonas-nao-saturada-e-saturada/>. Acesso em: 15 de Julho de 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução N° 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**, Brasil, 2009.

FERREIRA A. F. F. **Utilização de persulfato de sódio para tratamento de água subterrânea contaminada por mistura de diesel e biodiesel**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/RAOA-BD2HUL>.

GLOEDEN, E.; OLIVEIRA, A. S. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Seção 1.6: Metodologia de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. CETESB, 2022.

IMA. INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Instrução Normativa N° 74. Recuperação de áreas contaminadas**. Santa Catarina, 2023.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas**. 1ª ed. São Paulo, 2014.

MARQUES, E. de M; GUERRA, A. J. T. **Solos Contaminados por Hidrocarbonetos de Petróleo**. UFRJ. Rio de Janeiro, 2012.

MORATO, S. A. A. M. **Fundamentos para a Elaboração de Projetos Ambientais**. Apostila do curso de MBA em Gestão Ambiental, disciplina Elaboração e Gestão de Projetos Ambientais, UFPR, Curitiba, 2023.

TOMASELLI, I.; SIQUEIRA, J. D. P. **Gerenciamento de projetos: conhecimentos e habilidades**. Curitiba, 2016.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **A Abordagem da Tríade: Um Novo Paradigma para o Gerenciamento de Projetos Ambientais** USEPA, 2004. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=10004E2P.txt>