

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA POLITÉCNICA

JAIRO DE ARAÚJO SANTANA

**Proposta metodológica para prevenção de vazamento de efluentes em indústria química  
a partir de estudo de caso**

São Paulo  
2022

**Proposta metodológica para prevenção de vazamento de efluentes em indústria química  
a partir de estudo de caso**

**Versão Original**

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

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Dorn Nóbrega

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.

#### Catálogo na Publicação

Santana, Jairo

Proposta metodológica para prevenção de vazamento de efluentes em indústria química a partir de estudo de caso / J. Santana -- São Paulo, 2022. 52 p.

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

1.Modelos de gestão 2.Canaletas industriais 3.Contaminação 4.Prevenção 5.Inspecção I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Poli-Integra II.t.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida e pela energia emanada de sua força suprema.

A minha Esposa Adilene S. da Silva pela parceria em todos os momentos.

Ao meu filho Ryan Santana, por ser minha fonte de inspiração.

A minha orientadora Prof. (a). Dr. (a). Juliana Nóbrega, pelos ensinamentos, paciência e motivação.

A Prof. (a) Dr. (a) Marilda, obrigado por me incentivar num momento tão difícil em minha vida.

A todos que colaboraram direta e indiretamente para produção e conclusão deste trabalho.

## RESUMO

Santana, Jairo Araújo. Proposta metodológica para prevenção de vazamento de efluentes em indústria química a partir de estudo de caso. 2021. **52** f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

As crescentes exigências legais, referentes às questões ambientais, surgem como fator determinante de transformação cultural e conduta, principalmente as empresas que exercem atividades potencialmente poluidoras. Desta forma, o trabalho propõe uma abordagem metodológica para prevenção de vazamento de efluente em indústria química a partir de estudo de caso. A pesquisa visa incentivar as instituições a adotarem posturas assertivas e preventivas, com enfoque na legislação ambiental, qualidade do meio ambiente e responsabilidade socioambiental, mas também contribui na orientação de ações para evitar o aporte de efluentes no solo e em águas subterrâneas, além de apresentar uma sistemática (tarefas organizadas e procedimentada) para inspeção em canaletas industriais. O método empregado no desenvolvimento do trabalho foi a integração de alguns modelos e ferramenta de gestão (ISO 14001, Gestão de Riscos, ferramenta da qualidade e o ciclo PDCA – *Plan Do Check Act*) que resultou na elaboração de um procedimento para inspeção em canaletas. Assim, urge destacar que a inspeção em canaletas industriais demonstrou ser uma boa prática para evitar e/ou corrigir um dano ambiental, visto a criticidade da função, que é transportar o efluente de processo. A inspeção é uma forma de prevenção e que também ajuda na tomada de ações corretivas, caso haja um dano na canaleta.

Palavras-chave: Modelos de gestão. Canaletas industriais. Contaminação. Prevenção. Inspeção.

## **ABSTRACT**

Santana, Jairo Araújo. Proposta metodológica para prevenção de vazamento de efluentes em indústria química a partir de estudo de caso. 2021. **52** f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

The growing legal requirements, referring to environmental issues, emerge as a determining factor of cultural transformation and conduct, especially companies that carry out potentially polluting activities. In this way, the work proposes a methodological approach for the prevention of effluent leakage in the chemical industry based on a case study. The research aims to encourage institutions to adopt assertive and preventive postures, with a focus on environmental legislation, environmental quality and socio-environmental responsibility, but also contributes to the guidance of actions to avoid the contribution of effluents to the soil and groundwater, in addition to presenting a systematic (organized and procedural tasks) for inspection in industrial channels. The method used in the development of the techniques was the integration of some models and management tool (ISO 14001, Risk Management, quality tool and the PDCA cycle – Plan Do Check Act) and elaboration of a procedure for inspection in channels. Thus, it is important to highlight that inspection in industrial channels has proved to be a good practice to avoid and/or correct environmental damage, given the criticality of the function, which is to transport the process effluent. Inspection is a form of prevention and it also helps in taking corrective actions if there is damage to the channel.

**Keywords:** Management models. Industrial channels. Contamination. Prevention. Inspection

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Etapas do PGR

Figura 2 - Relação do ciclo PDCA com o SGA

Figura 3 - Rachadura na canaleta e vazamento na base do tanque

Figura 4 - Localização da área de estudo

Figura 5 - Fluxograma do processo industrial

Figura 6 - Etapas de demolição, recuperação e revestimento de canaletas

Figura 7 - Mapa de determinação de pH

Figura 8- Mapa de determinação da concentração de ferro

Figura 9 - Linhas potenciométricas

Figura 10 - Barreira Hidráulica

Figura 11 - Monitoramento do pH da área contaminada

Figura 12 - Monitoramento da concentração de ferro da área contaminada

Figura 13 - Análise e Avaliação de risco

Figura 14 - Reforma das canaletas

Figura 15 - Malha Amostral

## LISTA DE SIGLAS

Sigla	Significado
AC	Área contaminada
AP	Área com potencial de contaminação
APR	Análise preliminar de risco
AS	Área suspeita de contaminação
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CMA	Concentração máxima admissível
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
DDS	Diálogo diário de segurança
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
GAC	Gerenciamento de área contaminada
ISO	<i>International Organization Standardization</i>
MCA	Modelo conceitual da área
NBR	Norma Brasileira
ORTN's	Obrigações Reajustáveis do Tesouro Nacional
PDCA	<i>Plan Do Check Act</i>
PGR	Processo de Gestão de Riscos
PLA	Padrões Legais Aplicáveis
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SQI	Substância Química de Interesse
VI	Valor de Intervenção
VP	Valor de Prevenção
VRQ	Valor de Referência da Qualidade



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
2. OBJETIVOS .....	14
2.1. Objetivo geral .....	14
2.2. Objetivos específicos .....	14
3. JUSTIFICATIVA .....	15
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
4.1. MODELOS DE GESTÃO E FERRAMENTA PARA QUALIDADE .....	16
4.1.1. Sistema de Gestão Ambiental – NBR ISO14001 .....	16
4.1.2. Produção mais Limpa (PmaisL) .....	17
4.1.3. Gestão de Risco - NBR ISO 31000 .....	18
4.1.4. Ferramenta da Qualidade – 5W2H .....	18
4.1.5. Ciclo Plan-Do-Check-Act (PDCA) .....	19
4.1.6. Resoluções balizadoras para critérios e condições de substâncias lançadas no meio ambiente .....	21
5. MATERIAIS E MÉTODOS .....	24
5.1 Análise dos documentos.....	24
5.2. Modelos de gestão e ferramenta da qualidade para elaboração da sistemática.....	25
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
6.1. ESTUDO DE CASO.....	27
6.1.1. Investigação Preliminar .....	28
6.1.1.1. Caracterização do Meio Físico.....	18
6.1.1.2. Descrição do Processo Industrial.....	19
6.1.1.3. Caracterização do efluente.....	21
6.2. Substâncias e mecanismos de transporte .....	33
6.2.2. Investigação Confirmatória .....	34

6.2.3.	Investigação Detalhada da Área Contaminada.....	37
6.2.4.	Estratégias de Intervenção .....	39
6.2.4.1.	Correção do pH do Solo.....	29
6.2.4.2.	Instalação de Poços de Monitoramento.....	29
6.2.4.3	Contenção Física da Pluma de Contaminação.....	29
6.2.4.4	Bombeamento e Tratamento - <i>Pump and Treat</i> .....	30
6.2.4.5	Monitoramento para análise da eficácia da remediação.....	31
6.3.	INSPEÇÃO EM CANALETAS.....	42
6.3.1.	Recuperação de Canaletas .....	43
6.3.3.	Monitoramento Preventivo .....	45
7.	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	47
8.	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	48

## 1. INTRODUÇÃO

As crescentes exigências legais, referentes às questões ambientais, surgem como forte fator de transformação cultural e conduta, abordando o pensamento sistêmico, que percebe o planeta como organismo vivo em detrimento ao pensamento mecanicista, que compreende o mundo como uma máquina. A transição de pensamentos permite um desenvolvimento focado na sustentabilidade, incentivando a sociedade a adotar posturas mais reflexivas à legislação ambiental, visando a qualidade do meio ambiente e a responsabilidade socioambiental das instituições (SANTIAGO, 2015). Neste sentido, empresas potencialmente poluidoras elaboram tarefas sistematizadas, a fim de gerenciar e prevenir danos que possam impactar uma matriz ambiental.

As preocupações de diversas organizações com o correto desempenho ambiental impulsionam as empresas a implementarem um Sistema de Gestão Ambiental (SGA), como uma excelente ferramenta, desenvolvendo o senso de responsabilidade com as partes interessadas e consequentemente o equilíbrio entre a prevenção da poluição com a atividade econômica (NBR ISO 14001:15).

A NBR ISO 14001 é uma norma que tem por objetivo prover as organizações um sistema de gerenciamento ambiental pautada na imagem empresarial, entretanto, para maior eficiência ambiental é necessário integrá-la a outros modelos e ferramentas de gestão como: produção mais limpa, gestão de risco, ferramenta da qualidade (5W2H) e ciclo PDCA, a fim de alcançar metas e objetivos ambientais. O controle de aspectos para mitigar e/ou reduzir impactos deve nortear a definição dos objetivos e metas estabelecidos dentro da realidade atual de uma organização. Gerenciar os aspectos ambientais, principalmente os mais significativos, é a melhor forma de controlar perigos e reduzir riscos, evitando lesionar um bem ecológico, assim como imposições de medidas repressivas administrativas e criminais.

A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), traduzida na lei 6.938/81, expressa no artigo 14 que não haverá prejuízo das penalidades definidas pela legislação federal, estadual e municipal, caso o não cumprimento das medidas necessárias para preservar e/ou corrigir os danos causados pela degradação da qualidade ambiental. Desta forma, sujeitará os transgressores: a) Multa simples ou diária; b) Perda ou restrição de incentivos e benefícios fiscais concedidos pelo Poder Público; c) Perda ou suspensão de participação em linhas de financiamento em estabelecimentos oficiais de crédito; d) Suspensão de atividade; entre outros. Ainda conforme Art. 14 da PNMA, no § 1º, o poluidor é obrigado, independentemente da

existência de culpa, de indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a outrem, afetados por sua atividade, sendo o Ministério Público da União e dos Estados, o órgão colegitimado para propor ação de responsabilidade civil e criminal, por lesões ao meio ambiente.

A Constituição Federal de 1988, determina no artigo 225 que as condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão aos infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados. Desse modo, quem contribui com dano ao meio ambiente está sujeito a sanções de forma cumulativa, em conformidade com o princípio do poluidor pagador. No entanto, é importante ressaltar que ações preventivas possibilitam minimizar/eliminar os resíduos na fonte, evitando a poluição e riscos à saúde humana.

A política de prevenção ambiental está inserida no âmbito da legislação brasileira e tem suma importância na conscientização e educação para manutenção de um meio ambiente equilibrado. O Acordo-Quadro sobre Meio Ambiente do Mercosul (2001) foi uma reafirmação dos preceitos de desenvolvimento sustentável, abordados na Agenda 21, propondo a tratativa de forma prioritária e integral às causas e fontes que impactem negativamente no meio ambiente. Segundo Machado (2013), tanto a União Europeia quanto o Mercosul passam a propor medidas antecipadas, a fim de solucionar problemas ambientais na fonte em tempo adequado.

Os danos ambientais em uma matriz representam uma tendência desfavorável que pode impactar de forma negativa na imagem da empresa. Daí a importância de aplicar uma gestão estratégica não só para obediência das leis vigentes, restringindo ainda mais, por meio de políticas administrativas preventivas. A visibilidade de alguns problemas ambientais, aliada à facilidade de compreensão (causa e efeito) no mundo globalizado, tornaram-se umas das principais ferramentas de conscientização dos problemas causados pela má gestão (DIAS, 2011)

O transporte de efluente por sistema de drenagem industrial é uma operação crítica com grande potencial para provocar um dano ambiental, caso não tenha um plano de inspeção, a situação agrava. As canaletas de uma indústria química têm como função principal direcionar o efluente gerado no processo industrial para destinação e/ou tratamento, com os cuidados necessários para que não haja contato com o solo, evitando a contaminação deste e das águas subterrâneas.

Os efluentes são substâncias indesejáveis, desagregados ao longo do processo. Segundo o manual EPA (2017), efluentes industriais são águas residuais que podem ser tratados (parcial

ou completo), não tratados ou brutos de um usuário industrial, fluindo de um reservatório, sistemas de drenagens, bacias, entre outros. Tais efluentes precisam ser acondicionados de maneira adequada para que não impacte no desempenho ambiental de uma organização.

Durante a pesquisa bibliográfica, observou-se que não foram encontrados estudos propondo uma sistematização para inspeção em sistemas de drenagens industriais. Devido à lacuna mencionada, este trabalho propõe pesquisar alguns modelos de gestão, extraindo as melhores práticas para confecção de um procedimento de inspeção em canaletas industriais.

Além disso, apresentou-se um estudo de caso relacionado à percolação de efluente no solo através de uma canaleta danificada em uma indústria química, ocorrido no ano de 2013. Discutem-se as práticas de inspeção de canaletas para a correção do problema e ações imediatas adotadas pela empresa de consultoria ambiental para o gerenciamento do problema em questão. Além disso, apresentam-se as etapas de investigação de contaminação do solo em decorrência do incidente.

Esse trabalho está organizado da seguinte forma: o capítulo 2 apresenta o objetivo geral e os específicos desse estudo. No capítulo 3, apresentam-se as justificativas. No capítulo 4, trata-se da revisão bibliográfica, com a abordagem das metodologias que serão utilizadas na elaboração da sistemática (tarefas organizadas e procedimentadas) para inspeção em canaletas industriais. No capítulo 5, apresentam-se os materiais e métodos. No capítulo 6, encontra-se os resultados e discussão. No capítulo 7, tem-se as considerações finais e por fim as referências bibliográficas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Este trabalho tem como objetivo propor uma sistemática para inspeção em canaletas de indústrias químicas, utilizando modelos de gestão, a fim prevenir a contaminação do solo por efluentes industriais gerados ao longo do processo produtivo.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Pesquisar sobre modelos de gestão, de forma isolada ou combinada, a fim de aplicá-los no gerenciamento e inspeção de sistemas de drenagens industriais;
- Identificar as melhores práticas metodológicas que possam ser implementadas na sistemática para inspecionar canaletas;
- Analisar e apresentar as práticas de inspeção e correção adotadas em um incidente ambiental (estudo de caso) para evitar infiltração, através de canaletas danificadas, e percolação de efluente no solo.

### **3. JUSTIFICATIVA**

A observação à lacuna na literatura acadêmica, na elaboração de procedimento para inspeção em canaletas industriais, utilizando as melhores ferramentas de modelos de gestão, corrobora a necessidade de desenvolver pesquisas para disseminação das melhores práticas preventivas e estratégias no gerenciamento ambiental.

O desenvolvimento deste trabalho possibilita a aplicação prática dos modelos de gestão na área profissional, assim como, na cooperação e desenvolvimento de equipes multidisciplinares que podem atuar de forma preventiva, evitando impactos negativos em uma organização e colaborando com a preservação do meio ambiente.

O foco do estudo é desenvolver um procedimento escrito, utilizando ferramenta da qualidade e modelos de gestão, que nortearão as inspeções em canaletas industriais, evitando ou reduzindo o aporte de efluente no solo.

Ressalta-se ainda que o presente trabalho exerce papel pioneiro na abordagem, incentivando a ampliação das discussões sobre o tema, além de agregar na conscientização e educação ambiental.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo foram abordados modelos de gestão e ferramentas para elaboração desse estudo, no qual abrange pesquisas sobre sistema de gestão ambiental, produção mais limpa, gestão de riscos e ferramentas da qualidade.

### 4.1. MODELOS DE GESTÃO E FERRAMENTA PARA QUALIDADE

#### 4.1.1. Sistema de Gestão Ambiental – NBR ISO 14001

A NBR ISO 14001 é norma elaborada pela *International Organization Standardization* (ISO), estabelecendo diretrizes sobre Sistema de Gestão Ambiental (SGA), que propõe uma mudança de cultura organizacional em todos os níveis de uma empresa. Esta norma organiza, padroniza e sistematiza o gerenciamento ambiental nas organizações, conseguindo resultados bastantes significativos. Contudo, o modelo proposto pela norma (em uma versão anterior) tem enfoque no atendimento à legislação, gerenciamento de resíduos gerados e administração dos impactos produzidos, aproximando-se de uma estratégia Fim-de-Tubo. Desta forma, a ISO 14001 representa uma mudança de cultura empresarial, visando um nicho de mercado verde, deixando a problemática ambiental com foco em sustentabilidade em segundo plano (LAYRARGUES, 2000).

No entanto, a versão mais recente de ISO 14001 promoveu mudanças significativas referentes às três bases da sustentabilidade: meio ambiente, sociedade e economia. Assim, a nova versão propõe o equilíbrio entre os pilares com foco na sustentabilidade ambiental, abordando sistematicamente o SGA, tendo como objetivo: a) proteção do meio ambiente pela prevenção ou mitigação dos impactos ambientais adversos; b) mitigação de potenciais efeitos adversos das condições ambientais na organização; c) auxílio à organização no atendimento aos requisitos legais e outros requisitos; d) controle ou influência no modo em que os produtos e serviços da organização são projetados, fabricados, distribuídos, consumidos e descartados, utilizando uma perspectiva do ciclo de vida que possa prevenir o deslocamento involuntário dos impactos ambientais dentro do ciclo de vida; e) alcance dos benefícios financeiros e operacionais que podem resultar da implementação de alternativas ambientais que reforçam a posição da organização no mercado; e f) comunicação de informações ambientais para as partes interessadas pertinentes.

A nova versão da ISO 14001 ampliou o texto com uma nova perspectiva ambiental. No entanto, a adoção da norma sem ferramentas e modelos de gestão complementares, não garante



resultados ambientais significativos, visto que, a aplicação depende do contexto da organização, comprometimento com as políticas ambientais, tecnologias utilizadas, metas ambientais, natureza das atividades, requisitos legais, produtos, serviços e abordagem dos aspectos e impactos ambientais (NBR ISO 14001:15).

#### **4.1.2. Produção mais Limpa (PmaisL)**

A produção mais limpa usa a estratégia de prevenir a geração de contaminação na fonte, contrapondo-se a estratégia ambiental que utiliza controle na etapa final do processo (Fim-de-Tubo). Para Dias (2011), as estratégias da produção mais limpa propõem uma mudança de enfoque na forma como são abordadas as questões ambientais no âmbito das empresas. De acordo com o guia prático PmaisL, deve-se aplicar de forma contínua uma estratégia ambiental para prevenir a poluição, com foco nos processos e produtos, a fim de reduzir e/ou não gerar resíduos, evitando passivos e custos ambientais.

A PmaisL insere uma concepção que a geração e tratamento de resíduos devem ser enxergados como um desperdício de dinheiro, visto que, o tratamento e armazenamento da matéria prima desperdiçada gera custos, além de danos à imagem da empresa. Os principais requisitos para implementação da PmaisL são:

- Mudanças no produto
  - Substituição do produto;
  - Conservação do produto;
  - Alteração na composição do produto.
- Mudanças nos insumos
  - Purificação de materiais;
  - Substituição de materiais.
- Mudanças de tecnologia
  - Mudanças no processo, equipamento, na tubulação ou layout;
  - Mudanças nas condições operacionais;
  - Maior automação.
- Regeneração e Reuso
  - Substituição de matéria prima;
  - Retorno ao processo original.
- Boas práticas operacionais
  - Procedimentos apropriados;

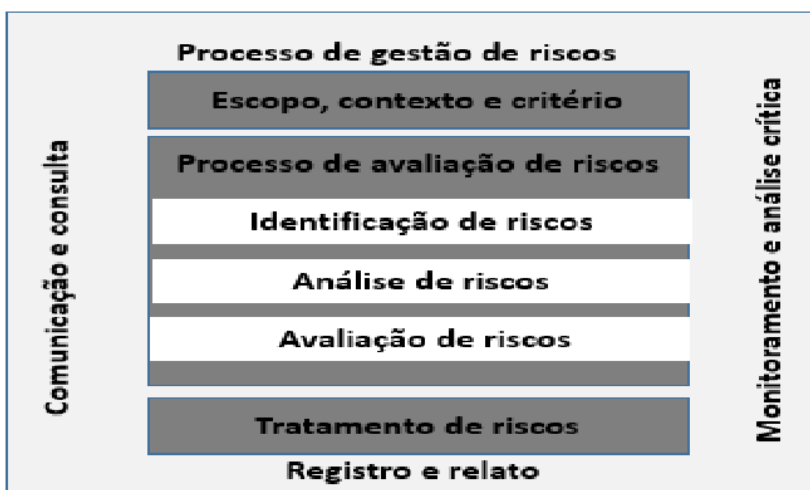
- Prevenção de perdas;
- Segregação de corrente de resíduo;
- Melhoria no manuseio dos materiais;
- Programação da produção.

#### 4.1.3. Gestão de Risco - NBR ISO 31000

A NBR ISO 31000 recomenda a integração do processo de gestão de riscos (PGR) nas estruturas operacionais, assim como nos processos organizacionais, sendo parte integrante da gestão do negócio e nas tomadas de decisões. Esta norma deve ser utilizada para criar e proteger o valor organizacional, gerenciar riscos, estabelecer e melhorar os objetivos, de forma que melhore o desempenho continuamente (NBR ISO 31000, 2018).

O PGR compreende uma aplicação sistemática e iterativa de políticas, procedimentos e práticas coordenadas para o controle dos riscos, que se inicia pela comunicação e consulta, incluindo o contexto, tratamento, monitoramento, identificação, análise, avaliação, registro e relato (ver Figura1).

Figura 1 - Etapas do PGR



Fonte: NBR ISO 31000 (adaptado pelo autor).

#### 4.1.4. Ferramenta da Qualidade – 5W2H

A ferramenta 5W2H é utilizada para confecção de procedimentos, caracterização de problema, plano de ação, entre outros, visando facilitar a compreensão aplicação da melhor maneira possível. O nome tem origem inglesa e os W's e H's significam: What (O que) – o que

deve ser feito?; Why (Por que) – por que precisa ser realizada?; Who (Quem) – quem deve fazer?; Where (Onde) – onde será implementado?; When (Quando) – quando deverá ser feito?; How (Como) – como será conduzido e How much (Quanto) – quanto custará esse projeto?

De acordo com Falconi (2004), a aplicação do 5W2H agrega uma série de benefícios como:

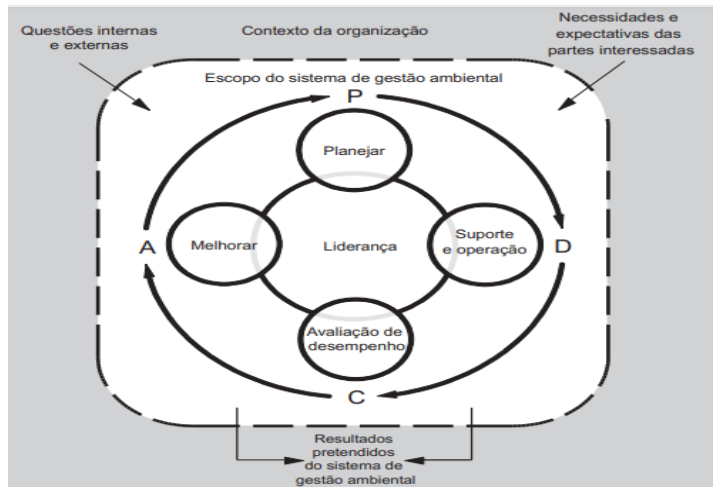
1. Eficiente para montar um plano de ação, assim como no acompanhamento de cada tarefa;
2. Evidencia das tarefas necessárias até que o objetivo seja alcançado;
3. Aplicação em diferentes cenários e departamentos de uma organização, com finalidade operacional, estratégica ou tática;
4. Possibilidade de adaptação e reinvenção constante;
5. Otimização de tempo;
6. Agilidade, clareza e direcionamento da equipe envolvida no projeto, entre outros.

#### **4.1.5. Ciclo Plan-Do-Check-Act (PDCA)**

É método gerencial compostos por quatro fases de controle. São elas: PLAN (planejar) DO (fazer – executar), CHECK (checar - verificar) e ACTION (agir - atuar). É utilizado para manutenção e melhoria dos níveis de controle. O ciclo consiste em: definição dos itens de controle, treinamento aos executantes da atividade, verificação e manutenção dos itens de controle, em caso de normalidade. Caso apresente anormalidade, o responsável deve ser avisado imediatamente para as ações corretivas necessárias (FALCONI, 2004).

O Ciclo PDCA aborda as estruturas de quatro sistemas em busca da melhoria contínua, tornando-se a base de sustentação de um sistema de gestão ambiental, que pode ser aplicado em cada estrutura (individualmente) e/ou de forma integrada (sistemicamente). Tal aplicabilidade pode ser descrita, conforme a NBR ISO 14001 como: 1) planejar e estabelecer os objetivos ambientais e os processos necessários para entregar resultados de acordo com a política ambiental da organização; 2) fazer implementações nos processos conforme o planejado; 3) checar e medir os processos em relação à política ambiental, incluindo seus compromissos, objetivos ambientais e critérios operacionais, assim como reportar os resultados e 4) tomar ações para melhoria contínua. A Figura 2 demonstra como o ciclo PDCA pode ser integrado em um modelo de gestão ambiental, conforme a ISO 14001, para ajudar na implantação e importância de uma abordagem sistemática.

Figura 2 - Relação do ciclo PDCA com o SGA



Fonte: NBR ISO 14001.

#### 4.1.6. Resoluções balizadoras para critérios e condições de substâncias lançadas no meio ambiente

A necessidade de prevenir a contaminação do solo, assim como do subsolo e das águas subterrâneas (bens públicos de uso comum), motivou o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) na elaboração de resoluções consubstanciadas na Lei 6.938/81. A Resolução 420/09 dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo, quanto à presença de substâncias químicas, assim como as diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas decorrentes de atividades antrópicas, e a Resolução 430/11 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água receptores.

A prevenção é a melhor maneira para evitar alterações prejudiciais no solo. Partindo desse princípio, a Resolução CONAMA 420/09, no artigo 3º, determina que as ações preventivas antecedem as ações corretivas, a fim de garantir a manutenção da funcionalidade do solo. Já as tratativas corretivas visam restaurar a qualidade ou recuperar o solo que sofreu degradação, de forma com usos previstos.

A funcionalidade do solo está atrelada aos conjuntos de processos físicos, químico e biológicos que garantem o equilíbrio dinâmico de fenômenos essenciais para a manutenção dos ciclos bioquímicos e ciclos hidrológicos. De acordo com a Resolução CONAMA 420/09, as principais funções do solo são: a) Servir como meio básico de sustentação da vida e de habitat para pessoas, animais, plantas e outros organismos vivos; b) manter o ciclo da água e dos nutrientes; c) servir como meio para a produção de alimentos e outros bens primários de consumo; d) agir como filtro natural, tampão e meio de adsorção, degradação e transformação de substâncias químicas; e) proteger as águas superficiais e subterrâneas; f) servir como fonte de informação quanto ao patrimônio natural, histórico e cultural; f) constituir fonte de recursos minerais; e g) servir como meio básico para a ocupação territorial, práticas recreacionais e propiciar outros usos públicos e econômicos.

O Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) é um escopo inserido na Resolução CONAMA 420/09 que tem o foco no risco à saúde humana, riscos ao meio ambiente e danos aos bens a proteger. Desta forma, o GAC visa eliminar ou reduzir os perigos e riscos, assim como evitar ou minimizar uma adversidade que impacte negativamente no meio ambiente. O gerenciamento de áreas contaminadas contempla as etapas de Identificação (inclui a avaliação preliminar e investigação confirmatória), Diagnóstico (inclui a investigação detalhada e a avaliação de risco) e Intervenção - etapa de execuções das ações para controlar e eliminar perigos, reduzindo para níveis toleráveis, entre outras ações.

A avaliação preliminar é uma etapa do processo de identificação de áreas contaminadas com objetivo de coletar informações sobre a área suspeita, assim como identificar todas as fontes potencias e primárias. Já na etapa de investigação confirmatória o objetivo é confirmar ou não a existência de substâncias químicas de interesse nas fontes identificadas, por meio de amostragens representativas de solos, resíduos, sedimentos, água subterrânea e superficial, além de gases no solo. Os valores das concentrações resultantes das amostras, serão comparados aos valores orientadores de qualidade do solo (Tabela 1) para possíveis ações se necessário (CONAMA 420/09).

A tabela 1 apresenta as substâncias inorgânicas com os respectivos valores orientadores para qualidade do solo e água subterrânea. O valor de prevenção (VP), refere-se às concentrações que acima das quais, possa haver algum impacto na funcionalidade do solo. Já o valor de investigação (VI) se baseia em concentrações que acima da quais, possa haver riscos diretos e indiretos à saúde humana e outros bens a proteger, de acordo com o cenário de exposição. Tanto o VP quanto o VI são pautados em uma política de prevenção de recursos naturais, visando o controle de poluentes no solo e ações de defesa (CONAMA 420/09).

Tabela 1 - Valores orientadores de qualidade das substâncias inorgânicas

Substâncias	CAS nº	Solo (mg.kg-1 de peso seco) (1)				Água Subterrânea (µg.L-1)
		Referência de qualidade de Prevenção	Investigação			Investigação
			Agrícola APMáx	Residencial	Industrial	
Inorgânicos						
Alumínio	7429-90-5	E -	-	-	-	3.500**
Antimônio	7440-36-0	E 2	5	10	25	5*
Arsênio	7440-38-2	E 15	35	55	150	10*
Bário	7440-39-3	E 150	300	500	750	700*
Boro	7440-42-8	E -	-	-	-	500
Cádmio	7440-48-4	E 1,3	3	8	20	5*
Chumbo	7440-43-9	E 72	180	300	900	10*
Cobalto	7439-92-1	E 25	35	65	90	70
Cobre	7440-50-8	E 60	200	400	600	2.000*
Cromo	7440-47-3	E 75	150	300	400	50*
Ferro	7439-89-6	E -	-	-	-	2.450**
Manganês	7439-96-5	E -	-	-	-	400**
Mercurio	7439-97-6	E 0,5	12	36	70	1*
Molibdênio	7439-98-7	E 30	50	100	120	70
Níquel	7440-02-0	E 30	70	100	130	20
Nitrato (como N)	797-55-08	E -	-	-	-	10.000*
Prata	7440-22-4	E 2	25	50	100	50
Selênio	7782-49-2	E 5	-	-	-	10*
Vanádio	7440-62-2	E -	-	-	1000	-
Zinco	7440-66-6	E 300	450	1.000	2.000	1.050**

Fonte: CONAMA 420/09

Tão importante quanto a Resolução CONAMA 420/09 é a Resolução CONAMA 430/11 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes. Apesar dessa Resolução dispor sobre as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores, no bojo da Art. 2º determina que: “ A disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeito aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos nesta Resolução, não podendo, todavia, causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas”. Embora essa Resolução não aborde a disposição de lançamentos de efluentes no solo, deixa explícito que mesmo o efluente tratado, não poderá ser lançado no solo, caso haja a possibilidade de contaminação das águas superficiais e subterrâneas. A Resolução CONAMA 430/11 apresenta concentrações de substâncias inorgânicas, como forma de indicar os valores máximos que podem ser inseridos ao meio ambiente (conforme apresentados na Tabela 2).

Tabela 2 - Padrões em lançamentos de efluente em corpos hídricos

Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr+6
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr+3
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercurio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni

Fonte: CONAMA 430/11

## **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

O presente trabalho foi embasado em um estudo de caso (método qualitativo) em uma indústria química pertencente ao ramo químico de beneficiamento de minério, resultado de uma infiltração de efluente em canaleta industrial e percolação no solo. Para a descrição do estudo de caso e análise crítica das práticas adotadas foram realizadas consultas a base de dados da empresa contratante e contratada para o gerenciamento do incidente ambiental. Por questões de sigilo e ética profissional, os nomes das empresas não serão mencionados.

### **5.1 Análise dos documentos**

Os documentos utilizados para a produção deste trabalho foram pesquisados no acervo da empresa contratante, em 2020, no entanto desde que aconteceu o fato, todos os colaboradores ficaram cientes, devido a política de transparência e participação adotada pela empresa. As pesquisas documentais são procedimentos formais que orientam o indivíduo no conhecimento da realidade ou na descoberta de verdades parciais (MARCONI; LAKATOS, 2013). Segundo Marconi e Lakatos (2013), a pesquisa documental é um suporte que possibilita investigar preliminarmente e explorar documentos. Esta foi de grande importância no desenvolvimento do trabalho, sendo realizada através de acesso a informativos, projeto executivo da empresa de consultoria, diálogos diários de segurança (DDS), etc, além de uma pesquisa geral. A pesquisa bibliográfica é um apanhado geral de trabalhos realizados que foi de suma importância para elaboração deste estudo, fornecendo dados atuais e relevantes.

Através de análise documental, verificou-se as ações necessárias para o gerenciamento da área do incidente, dividindo a tratativa em 3 etapas.

### **ETAPA 1**

Nessa etapa foi elaborada uma ação corretiva, elegendo um colaborador técnico como responsável, a fim de verificar todos os sistemas de drenagem e identificar possíveis não conformidades que pudessem produzir um impacto ambiental e saná-las. Ações adotadas na etapa 1:

- Restrição de uso das canaletas;
- Avaliação do estado de todas as canaletas;
- Sanar todos os danos verificados nas canaletas;
- Elaborar procedimento de inspeção nas canaletas com maior frequência e critério.



## ETAPA 2

Nessa etapa houve a avaliação da área afetada pela empresa contratada e especializada que fez todos os levantamentos necessários, incluindo os parâmetros do solo, da água superficial e subterrânea, do contaminante, assim como a interação entre eles. A etapa iniciou-se pelo estudo técnico da área até a ação anterior ao monitoramento. Ações adotadas na etapa 2.

- Contratação de uma empresa de consultoria;
- Investigação confirmatória e detalhamento da área contaminada;
- Plano de intervenção;
- Escolha dos métodos de remediação;
- Aplicação dos métodos de remediação na área.

## ETAPA 3

A etapa de monitoramento foi planejada para atingir as metas de remediação definidas para a área, sendo realizada por meio de campanhas de amostragens e análises químicas do *site* afetado por substâncias químicas de interesse (SQI). O objetivo foi verificar se as concentrações das SQI apresentaram valores inferiores aos padrões legais aplicáveis e se o processo de reabilitação do *site* poderia ser encerrado, conforme as metas de remediação.

### 5.2. Modelos de gestão e ferramenta da qualidade para elaboração de sistemática

A elaboração de um procedimento, sistematizado em tarefas organizadas com frequência predeterminada, foi pautado em modelos de gestão com foco em ações preventivas para evitar um desvio ambiental (nomenclatura utilizada pela empresa para determinar um cenário ambiental que se afasta dos parâmetros médios de normalidade) e ações corretivas para sanar problemas que podem comprometer a performance ambiental.

Cada modelo pesquisado contribuiu, a respeito das ações de prevenção, identificação, estimação, valorização e controle dos riscos, assim como na análise e avaliação dos riscos apresentados na área contaminada. Com a ferramenta da qualidade 5W2H foi possível a elaboração de um procedimento para orientação nas inspeções em canaletas, seja para evitar ou sanar um desvio ambiental. Tal procedimento consiste em observações e uso de objetos como alavanca e máquina fotográfica para registro das inspeções. O uso de alavanca (barras de aço carbono com aproximadamente 80cm e 900g) com extremidade pontiaguda é utilizada para

verificar se há algum revestimento danificado. A sistemática também aborda as ações que deverão ser desenvolvidas, os resultados esperados e as consequências das não conformidades.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O estudo de caso demonstrou que eventos indesejáveis podem provocar efeitos danosos e sempre estará presente no cotidiano de uma corporação, caso não haja uma gestão estratégica de prevenção e controle. Neste sentido, embasado por eficientes práticas gerenciais, este trabalho sugere algumas sistemáticas para prevenir ou controlar algum impacto, seja no meio ambiente ou na saúde do homem.

### **6.1. ESTUDO DE CASO**

O estudo de caso apresenta a ocorrência de uma infiltração e percolação de efluente contendo metal pesado (Ferro- Fe) pela canaleta de uma indústria química, localizada em uma cidade do estado da Bahia.

No dia 31 de dezembro de 2013 às 14:00, quando realizava operações de rotina, o operador do setor observou um pequeno vazamento na base do tanque de efluentes (ver Figura 3). A ação imediata consistiu na coleta do fluido, visto que o vazamento estava contido no dique de efluente (área com revestimento impermeável) e transporte (bombeamento com uso de bomba centrífuga) para os próprios tanques de armazenamento de efluente. O operador registrou o fato, informando ao setor de meio ambiente da empresa.

Por meio do contínuo monitoramento do vazamento na base do tanque de efluente e da medição do pH, observou-se um incremento na vazão do efluente e variação da coloração do solo, de esverdeado para uma cor levemente amarelada, assim como a redução do pH de 5,5 para o valor de 3,5. Este fato motivou a realização de uma inspeção completa no tanque de efluentes e no sistema de canaletas, com aproximadamente 400 m de comprimento.

No dia 04 de janeiro de 2014, identificou-se por meio de inspeção visual uma rachadura e infiltração na canaleta (ver Figura 3) que recebe o efluente (filtrado) proveniente da Filtração Moore I (etapa do processo industrial), próximo aos compressores de vácuo, o que ocasionou a percolação do efluente em uma profundidade de aproximadamente 2 m de solo.

Figura 3 - Vazamento na base do tanque e rachadura na canaleta



Fonte: Empresa.

Uma equipe multidisciplinar liderada pelo gerente de meio ambiente foi formada e um plano de ação foi elaborado. O escoamento para a canaleta foi desviado, a fim de seccionar a fonte primária e consequentemente evitar a infiltração e aporte de efluente no solo. Logo depois foi contratada uma empresa de consultoria, especializada em gerenciar áreas contaminadas. A empresa contratada adotou a metodologia de gerenciamento de área contaminada (GAC), elaborada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), porém abordou a metodologia de forma interativa, não seguindo um padrão linear entre as etapas do GAC (avaliação preliminar, investigação confirmatória e avaliação detalhada).

#### **6.1.1. Avaliação Preliminar**

No estudo de caso, a avaliação preliminar balizou de forma clarividente, as informações necessárias para iniciar o gerenciamento da área, a fim de compreender a origem da contaminação, assim como o caminho preferencial do contaminante, até o aparecimento na base do tanque no dique de efluente

A Avaliação Preliminar é avaliação inicial realizada em uma área com potencial de contaminação, por meio de bases de informações disponíveis, sejam públicas ou privadas, visando identificar fatos, evidências, indícios ou incertezas que apresentem suspeitas da existência de contaminação em algum compartimento ambiental. A identificação de fontes primárias, áreas suspeitas de contaminação e/ou áreas com potencial de contaminação são feitas através da caracterização de atividades potencialmente poluidora, historicamente desenvolvidas ou em desenvolvimento num determinado local, embasando o planejamento das ações a serem executadas nas etapas seguintes no gerenciamento de uma área contaminada (CETESB, 2021).

De acordo com o Decreto Estadual de São Paulo nº 59.263 (2013), as áreas avaliadas, nesta etapa do GAC, são classificadas como:

- Área com Potencial de Contaminação (AP): área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria onde são ou foram desenvolvidas atividades que, por suas características, possam acumular quantidades ou concentrações de matéria em condições que a tornem contaminada.
- Área com suspeita de contaminação (AS): Área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria com indícios de ser uma área contaminada conforme resultado da avaliação preliminar

#### 6.1.1.1. Caracterização do Meio Físico

A área do estudo de caso situa-se no estado da Bahia (ver Figura 4), localizado a 23 km de Salvador, tendo a unidade industrial uma área de 835 hectares. O clima é o tropical úmido com uma estação seca, de setembro a fevereiro, e uma estação chuvosa, de março a agosto. A precipitação anual na região apresenta valores de 1.600 mm/ano que podem variar a 1.980 mm/ano (Climatempo, 2022). A área estudada se encontra próximo à costa, onde afloram sedimentos quaternários aluvias com permeabilidade e porosidade elevadas e lençol freático próximo à superfície, com um metro de profundidade. O aquífero de São Sebastião é o principal aquífero regional que supre as indústrias do Complexo Petroquímico de Camaçari com água de boa qualidade e regula a vazão dos rios locais, principalmente o Joanes e o Jacuípe. Segundo CETREL (2012), a contribuição do Aquífero de São Sebastião nos rios Joanes e Jacuípe é estimada em 40 m<sup>3</sup>/s.

Figura 4 - Localização da área de estudo



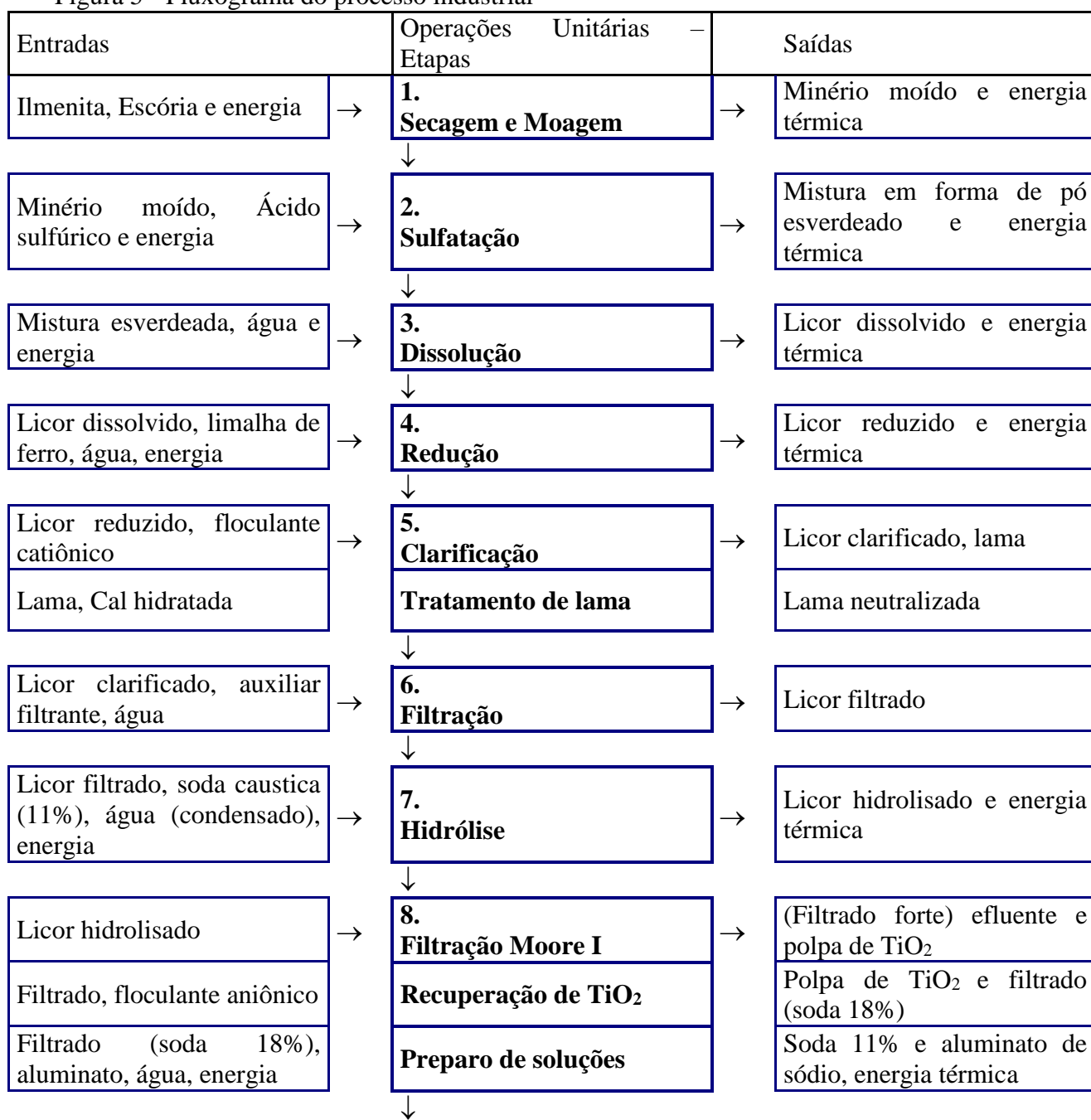
Fonte: Empresa (adaptado pelo autor)

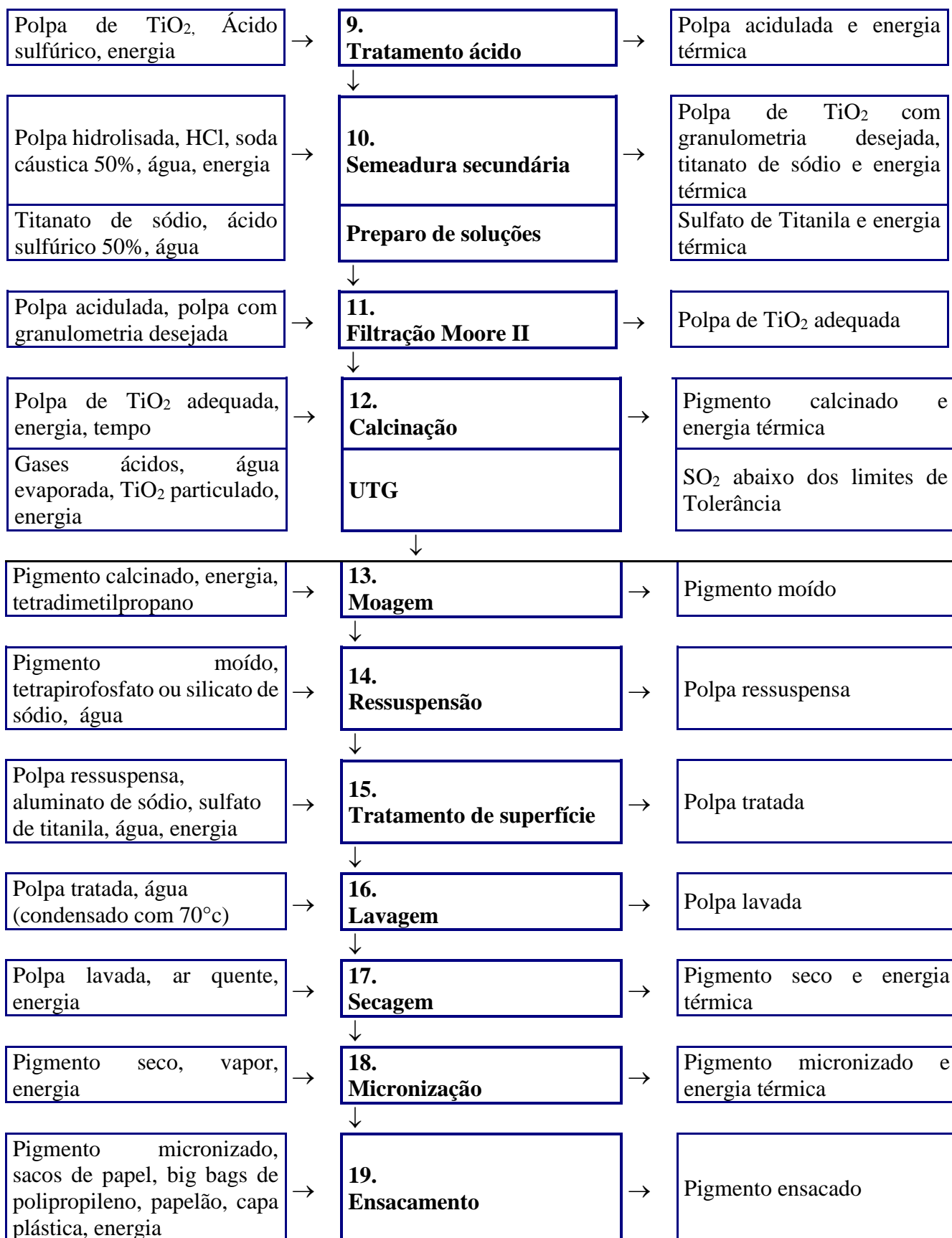
A topografia da unidade fabril é levemente acidentada, localizada em uma cota mais elevada, facilitando o escoamento do fluxo subterrâneo para linhas equipotenciais de menor cota, encontrando o oceano atlântico ao leste.

#### 6.1.1.2. Descrição do Processo Industrial

O fluxograma permite compreender todas as etapas do processo, de forma prática e simplificada. A visualização de entradas e saídas das operações unitárias, facilita a implantação de medidas de controle, em caso de perdas e/ou incidentes de processo (ver Figura 5).

Figura 5 - Fluxograma do processo industrial





Fonte: Empresa

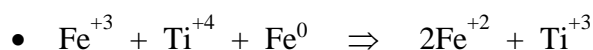
### 6.1.1.3. Caracterização do efluente

O sistema de efluente é composto por uma rede de canaletas com revestimento antiácido, tanques de armazenamento e bombas centrífugas. O óxido de ferro, nas formas FeO e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, esse com fração de mais de 40 % na ilmenita, são as principais impurezas que serão desagregadas ao processo. Outros óxidos como o P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, etc, também estão presentes na ilmenita, porém a soma das frações não chega a 3%. O óxido férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ou Fe<sup>+3</sup>) é reduzido a óxido ferroso (FeO ou Fe<sup>+2</sup>) e desagregado na Filtração Moore I (etapa do processo), tornando o efluente rico em ferro solúvel.

O processo produtivo se inicia com a mistura (minério + escória) que passa por uma secagem para retirada da umidade, a qual é indesejável na próxima etapa do processo. Em seguida, o minério seco é encaminhado à moagem, onde o tamanho das partículas é bastante reduzido, aumentando a superfície de contato do material, favorecendo assim a eficiência da reação. Após a moagem da mistura, a mesma é transferida por correias transportadoras para tanques contendo ácido sulfúrico com concentração de 98%, essa mistura alimentará sulfatadores (reatores) onde ocorrerá a reação, resultando na transformação dos óxidos em seus respectivos sulfatos solúveis. O produto da reação é um pó marrom-esverdeado que é dissolvido formando o licor.

O licor dissolvido é enviado por bombas para tanques contendo serpentinas internas, a fim de controlar a temperatura da reação. Devido à necessidade de separação de ferro do licor, é necessária a redução deste do estado trivalente (Fe<sup>+3</sup>) para o estado bivalente (Fe<sup>+2</sup>), pois esse último é mais fácil de ser removido nas etapas seguintes do processo. A redução é alcançada, adicionando-se limalha de ferro (fonte de ferro metálico) e sua eficiência é controlada pela presença de titanoso (Ti)<sup>+3</sup>, produto da redução do (Ti)<sup>+4</sup>, que surge após total redução do ferro.

A reação simplificada do processo é a seguinte:



O efluente tem caráter ácido e rico em Fe<sup>+2</sup> (ferro solúvel) que, em contato com o solo, pode variar o pH da área afetada, degradando-a de forma significativa. Os metais encontrados nas formas solúveis e trocáveis apresentam maior biodisponibilidade. Na forma solúvel, o metal apresenta característica iônica e pode ser facilmente absorvido por plantas (Alexandre et al., 2012). Outrossim, diz respeito ao mecanismo de transporte (lixiviação), podendo atingir os corpos d'água subterrâneos. A Resolução CONAMA 420/09 determina o valor de intervenção



(VI) de  $2450\mu\text{g/L}$  de ferro em água subterrânea, sendo que a Resolução CONAMA 430/11 determina o valor de  $15\text{ mg/L}$ , como padrão, para lançamento de efluentes em corpos hídricos.

## 6.2. Substâncias e mecanismos de transporte

Entender as características do meio físico é de suma importância para a compreensão dos mecanismos de transporte de SQI no solo e em água subterrânea. No estudo de caso foi abordado a percolação - movimento descendente de água ou solução aquosa às regiões de maior profundidade do solo – como principal mecanismo de transporte de efluente no solo. Outros mecanismos como infiltração, lixiviação e dissolução podem transportar SQI, degradando o solo e provocando contaminações de águas subterrâneas. Segundo Moraes et al. (2014), as características do meio físico podem afetar o transporte de uma substância, devido à atenuação natural, diminuindo a mobilidade da SQI. Outrossim, o mecanismo de transporte pode ser comparado com uma força matriz que liga o caminho de exposição até um ponto de exposição de um dado receptor humano. A Norma NBR 15515-1 determina que o levantamento de dados do meio físico permite identificar as vias de transporte dos contaminantes, assim como os bens que precisam ser protegidos.

### 6.2.1.1. Identificação da Fonte Poluidora

A fonte poluidora faz parte de um cenário de exposição que se correlaciona com o mecanismo de liberação das substâncias químicas através dos mecanismos de transporte, no meio físico, chegando a via de ingresso até o receptor. Identificar a fonte e seccionar a cadeia, impossibilita a emissão de contaminante e evita maiores danos ao meio ambiente. A identificação da rachadura na canaleta foi a causa raiz para sanar o problema, descontinuando a infiltração. Assim, a medida corretiva foi utilizada, a fim de recuperar e adequar, o uso previsto do sistema de drenagem (ver Figura 6).

Figura 6 - Etapas de demolição, recuperação e revestimento de canaletas



Fonte: Autor.

### 6.2.2. Investigação Confirmatória

O objetivo da investigação Confirmatória (IC) é confirmar ou não a existência de contaminantes em uma determinada área, seja para identificar fontes primárias ou na obtenção de dados para iniciar a caracterização do meio físico. Na IC, procura-se obter dados quantitativos analíticos para comparar aos valores de intervenção legalmente estabelecidos do solo e água subterrânea, levando-se em consideração um cenário de exposição genérico. As principais ações na investigação confirmatória são:

- Definição de um plano de amostragem;
- Definição do plano de análise químicas;
- Verificação das fontes potenciais primárias e secundárias;
- Coleta de amostras das matrizes ambientais;
- Identificação dos mecanismos de transportes;
- Comparação com os valores orientadores.

A Resolução CONAMA 420/09 estabelece que avaliação da qualidade de solo, referente à presença de substâncias químicas, deverá ser abalizada pelos valores orientadores de referência de qualidade, prevenção e intervenção. Os valores orientadores da qualidade do solo (VRQ's) são conceituados da seguinte forma: 1) Valor de Referência de Qualidade: concentração de determinada substância no solo e na água subterrânea que define um solo como limpo ou a qualidade natural da água subterrânea; 2) Valor de Prevenção: concentração de determinada substância acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea; 3) Valor de Intervenção: concentração de determinada substância no solo e na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais diretos e indiretos à saúde humana, considerado um cenário de exposição genérico.

Outrossim, conforme a Resolução CONAMA nº 420/2009, os VRQ's são utilizados na tomada de decisão para possíveis ações, caso a concentração de uma SQI inserida em uma área, ultrapasse as concentrações legais vigentes, sendo definidos da seguinte forma:

- O Valor de Referência de Qualidade – VRQ define o limite abaixo do qual os solos são inalterados, portanto, não demandando intervenções.
- Valor de Prevenção – VP compreende concentrações acima das quais pode ocorrer alterações na qualidade dos solos e águas subterrâneas.
- SQIs em concentrações entre o VRQ e o VP classificam os solos como pouco alterados ou com anomalia natural, devendo ser feita análise das fontes de contaminantes e propostas eventuais alterações, caso aplicável.

- Os Valores de Intervenção – VI, por sua vez, definem condições acima das quais há risco potencial à saúde humana, sendo que concentrações entre o VP e o VI indicam ambientes alterados ou com anomalia natural, demandando a identificação e controle das fontes de poluição, com monitoramento dos solos e águas subterrâneas.
- Concentrações superiores aos VI permitem classificar a área como contaminada sob investigação.

No Plano de amostragem da IC, deve-se definir os meios a serem amostrados, assim como a distribuição horizontal dos pontos de amostragem, as profundidades das amostragens e substâncias a serem analisadas. O Tipo de amostragem e o meio a ser amostrado na IC são:

- Solo: especificação da profundidade a ser amostrada;
- Solo: sondagem;
- Solo: gases do solo;
- Entulho/escombros/material de construção/resíduos;
- Água subterrânea: aquífero superior com piezômetro;
- Água subterrânea: aquífero inferior;
- Entre outros.

Aplicado a IC no estudo de caso, foram quantificados pH e a concentração de ferro por meio de poços de bombeamento selecionados, devido a posição, formando uma geometria que abrangesse a área afetada e produzisse amostras significativas. Analisando a Tabela 3, percebeu-se a correlação linear entre o pH e a concentração de ferro, de forma que, quanto maior o pH, menor a concentração de ferro. Também foi verificado que as concentrações de ferro, em alguns poços de bombeamento, foram maiores que o valor de intervenção (VI para o Ferro com base em risco à saúde humana:  $2.450\mu\text{g/L}$ ) determinado na lista de valores orientadores para solos e para águas subterrâneas na Resolução CONAMA 420/09.

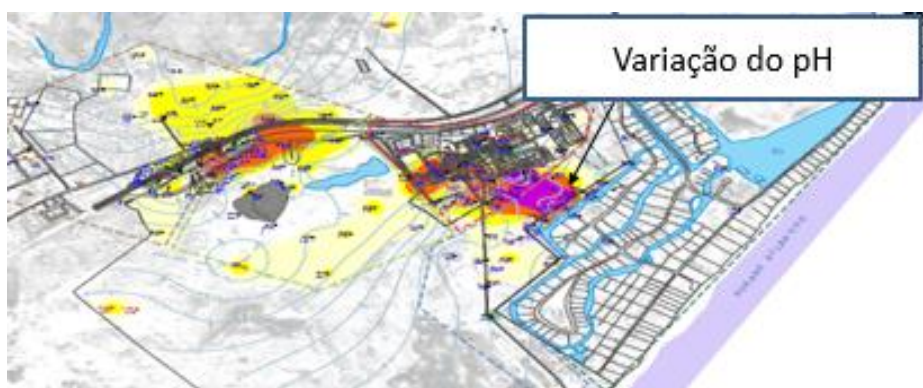
Tabela 3 - Quantificação de pH, condutividade e concentração de Ferro em poços de bombeamento

Amostras	pH	Condutividade ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Ferro ( $\text{mg}/\text{L}$ )
Poço Bomb. Nº 4	4,5	6490	2,53
Poço Bomb. Nº 5	4,8	3468	2,66
Poço Bomb. Nº 6	5,2	1155	2,45
Poço Bomb. Nº 9	5,5	1125	2,30
Poço Bomb. Nº 12	6,9	1490	1,55
Poço Bomb. Nº 13	6,0	7620	2,11
Poço Bomb. Nº 14	5,8	6620	2,40
Poço Bomb. Nº 15	5,3	1666	2,80
Poço Bomb. Nº 16	5,5	6205	2,13
Poço Bomb. Nº 17	4,6	3679	2,50
Poço Bomb. Nº 18	6,9	6643	1,83
Poço Bomb. Nº 21	5,9	3105	2,10
Poço Bomb. Nº 22	6,2	1683	2,22
Poço Bomb. Nº 23	4,8	1686	2,52
Poço Bomb. Nº 24	6,9	1400	1,90
Poço Bomb. Nº 25	5,5	2200	2,11
Poço Bomb. Nº 27	5,3	2000	2,32
Poço Bomb. Nº 28	5,9	1840	2,23
Poço Bomb. Nº 29	4,8	3155	2,81
Poço Bomb. Nº 30	4,5	2980	2,64
Poço Bomb. Nº 31	6,6	1500	1,82
Poço Bomb. Nº 32	6,5	1760	2,41

Fonte: Empresa

A partir da quantificação do pH e concentração de ferro, foram elaborados mapas de superfície demonstrando as áreas mais afetadas. Tais áreas aparecem no mapa em cores mais intensas, tornando-se mais perceptível, quais áreas serão priorizadas, de acordo com a Figura 7 e a Figura 8.

Figura 7 - Mapa de determinação de pH



Fonte: Empresa (adaptado pelo autor).

Figura 8 - Mapa de determinação da concentração de ferro



Fonte: Empresa (adaptado pelo autor).

#### 6.2.3. Investigação Detalhada da Área Contaminada

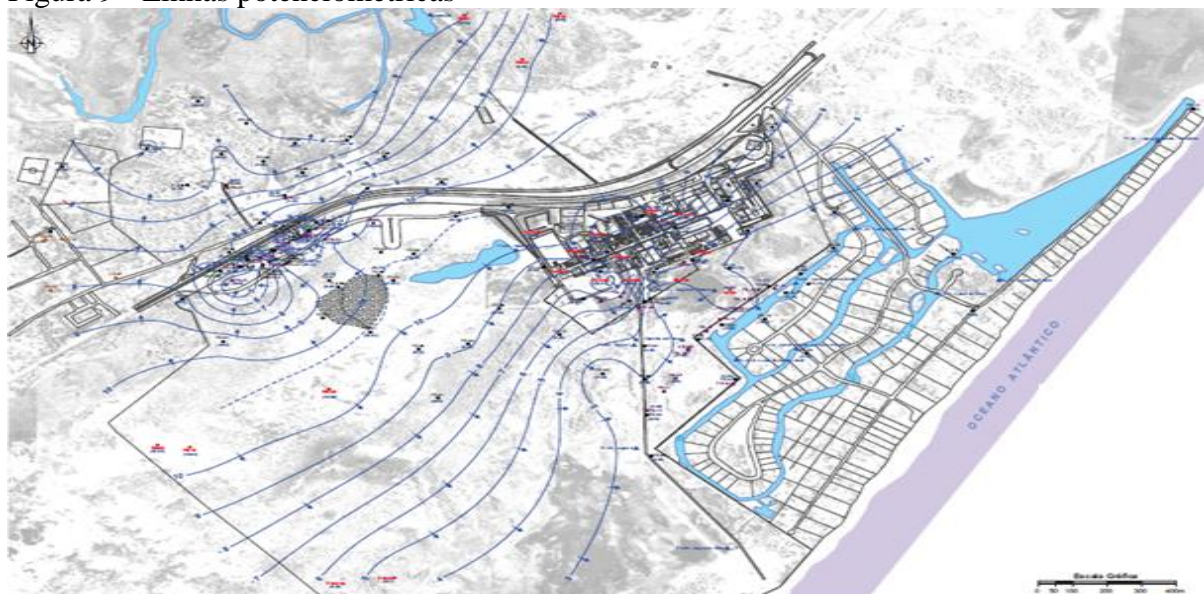
No GAC (Gerenciamento de Áreas Contaminadas), a avaliação detalhada consiste na caracterização das fontes de contaminação e dos meios físicos, assim como os tipos de contaminantes presentes, concentrações, área e volume das plumas de contaminação, além da dinâmica de propagação, limites e taxa de propagação destas. Ações desenvolvidas na ID (Investigação Detalhada) consistem em:

- Dimensionamento da área de interesse, assim como a pluma de concentração;
- Determinação das concentrações e contaminantes;
- Caracterização do meio físico;
- Caracterização do efluente;
- Definição de um modelo conceitual, entre outros.

Diferente da etapa de confirmação de áreas contaminadas, a avaliação detalhada tem o objetivo de quantificar a contaminação, avaliando detalhadamente tanto as características das fontes, quanto os meios afetados. A robustez de informação é de suma importância para elaboração de um modelo conceitual da área, reduzindo o máximo possível as incertezas.

Por meio da avaliação detalhada foi possível avaliar os caminhos preferenciais (ver Figura 9), que ajudou a compreender a trajetória da percolação do efluente no solo, tornando evidente o começo e o fim da área que recebeu as devidas tratativas e remediação.

Figura 9 - Linhas potenciométricas



Fonte: Empresa.

#### 6.2.3.1. Modelo conceitual da área

Todas as informações necessárias para a investigação em áreas contaminadas devem ser analisadas para o desenvolvimento e elaboração de um Modelo conceitual da área (MCA). Segunda a NBR 16210 (2013), o MCA é uma representação escrita ou gráfica de um sistema ambiental, abrangendo processos naturais, transporte de contaminante, fontes, caracterização do meio, até os receptores envolvidos. Já a CETESB na DD 38 (2017) conceitua o MCA como relato escrito, acompanhado de representação gráfica, dos processos associados ao transporte das SQIs na área investigada, desde as fontes potenciais, primárias e secundárias de contaminação, até os potenciais ou efetivos receptores.

As principais atividades necessárias para o desenvolvimento de um MCA são: a) determinação dos limites da área estudada; b) resumo das informações históricas de uso e ocupação da área de estudo; c) identificação das potenciais e reais SQIs e suas respectivas áreas de interesse; d) determinação dos valores de ocorrência natural das substâncias de interesse; e) identificação, caracterização e localização das potenciais, suspeitas e reais fontes de contaminação; f) caracterização do meio físico; g) mecanismos de liberação dos contaminantes; h) vias de transportes do contaminantes (ar, solo, água, sedimento, etc.); e i) identificação e caracterização dos receptores e bens a proteger.

No estudo de caso, após as investigações confirmatória e detalhada da área contaminada foi elaborado um modelo conceitual, abrangendo a área fonte ou foco, onde originou a inserção do efluente na via de transporte (solo), a classificação do incidente ambiental como nível 1 –



considerado crítico com possibilidade de sair da área industrial, identificação da substância química de interesse, identificação dos mecanismos de liberação da fonte, vias de transportes, até os receptores, conforme a Tabela 4. É importante ressaltar, que em um contexto mais atual, o modelo conceitual da área deve ser elaborado com o máximo de informações, a fim de reduzir as incertezas sobre a área em estudo, aumentando a assertividade acerca das ações de intervenção.

Tabela 4 - Modelo conceitual da área

ÁREA (FONTE OU FOCO)	CLASSIFICAÇÃO	PRODUTOS E SUBSTÂNCIAS	MECANISMOS DE LIBERAÇÃO	VIAS DE TRANSPORTES DOS CONTAMINANTES	RECEPTORES E BENS A PROTEGER
Canaleta danificada em frente aos compressores de ar líquido	Incidente ambiental nível-1	Efluente do processo produtivo	Vazamento Infiltração Percolação Carreamento	Solo, Sedimento e Água subterrânea	Ecosistemas Organismos Habitat sensível

Fonte: Empresa (adaptada pelo autor)

#### 6.2.4. Estratégias de Intervenção

As Estratégias de Intervenção (EI) visam eliminar ou reduzir os riscos à saúde humana, ao meio ambiente ou outro bem a proteger, de uma exposição aos contaminantes presentes em uma área contaminada. No presente estudo da área objeto, o tratamento selecionado foi predominantemente *in situ*, conforme as medidas abaixo.

- Identificação e descontinuação das fontes primárias e secundárias;
- Inertização / Neutralização de solo;
- Instalação de poços de monitoramento;
- Contenção física da pluma de contaminação;
- Pump and Treat – reuso no processo.

##### 6.2.4.1. Correção do pH do Solo

A calagem é o método de correção de pH que neutraliza as cargas positivas que provocam a acidez no solo. O método foi utilizado na correção do pH do solo, em forma de solução com proporções estequiométricas de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{H}_2\text{O}$  para um determinado volume, conforme a área afetada. Essa técnica é usada em áreas com parâmetros ideais que possibilita uma maior disseminação da solução aplicada. Tais parâmetros são: alta permeabilidade, zona saturada pouca espessa, entre outros, compatíveis com a área em estudo. O uso do método de calagem foi aplicado, no estudo de caso, ao comparar o mapa de determinação de pH (ver Figura 8), além da avaliação de viabilidade técnica, econômica e socioambiental.

O pH do solo é determinante para a vida e o desenvolvimento de microrganismos e plantas, visto que há uma faixa específica para obtenção de macronutrientes e micronutrientes, assumindo uma grande importância no controle de vários processos químicos que acontecem no solo. Desta forma, pode-se exemplificar a diminuição da disponibilidade de micronutriente como o ferro (Fe), caso haja redução de acidez no solo (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

#### 6.2.4.2. Instalação de Poços de Monitoramento

Após definir um modelo conceitual hidrológico, resultado das avaliações anteriores, determinou-se o fluxo preferencial das águas subterrâneas (avaliando a topografia local), para instalar poços que tenham a função de monitorar indicadores de contaminação pertinentes e verificar os parâmetros de qualidade da água. A instalação de tais poços, seguem regras normativas que dita as condições exigíveis para construção e dados mínimos para apresentação de projetos de redes de monitoramento. A instalação de poços de monitoramento executada de forma errada pode cruzar contaminação entre camadas, perder concentrações de interesse ou até não ter volume de água dentro do poço.

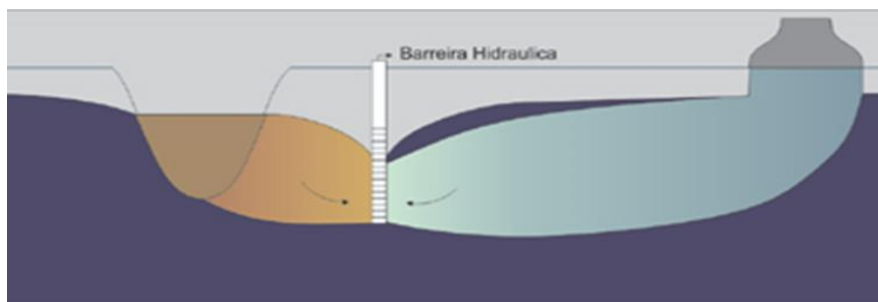
A água subterrânea foi monitorada com objetivo de avaliar parâmetros como: pH, condutividade, temperatura e concentração de contaminantes. Os valores dos parâmetros foram avaliados comparando aos valores orientadores normativos, verificando-se a magnitude da contaminação.

#### 6.2.4.3. Contenção Física da Pluma de Contaminação

A Barreira Hidráulica consiste em um poço piezométrico ou poço de extração que tem a função de conter a água subterrânea contaminada ou uma pluma de contaminação, impedindo a difusão. Os poços são alocados transversalmente à pluma e submetidos a uma pressão negativa (na sucção da bomba) que provocará um cone de rebaixamento em toda a extensão da pluma. Assim formará uma contenção do gradiente de fluxo, impossibilitando a passagem. O gradiente de pressão formado é proporcional ao vácuo aplicado no sistema que terá maior eficiência quanto menor for o vácuo (por se tratar de pressão negativa). A barreira hidráulica impossibilitou, de forma efetiva, a difusão da pluma (ver Figura 10), garantido a segregação e a incolumidade dos bens a proteger (saúde das pessoas, fauna, flora, biota, ecossistema, habitat sensível, entre outros), a jusante da barreira hidráulica.



Figura 10 - Barreira Hidráulica



Fonte: Empresa.

#### 6.2.4.4. Bombeamento e Tratamento - Pump and Treat

É uma das técnicas de menor custo, comparada com outras, que consiste na extração de águas contaminadas no subsolo para posterior tratamento e remoção de contaminantes por poços que são alocados de forma estratégica para interceptar a pluma. O objetivo desta técnica é fazer o controle hidráulico e retirar o contaminante do meio.

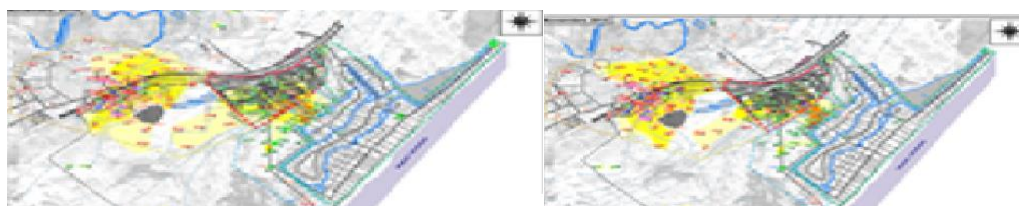
É oportuno afirmar que esta técnica está associada com outras técnicas de remediação para uma maior eficiência, sendo que a eficiência depende das condições locais, levando em consideração parâmetros hidrológicos, litológicos, extensão dos contaminantes, assim como outros fatores necessários para aplicar este método de remediação.

A área onde foi aplicado a técnica, mostrou-se propícia, devido às características locais com alta permeabilidade do solo, vazão significativa das águas no subsolo, entre outras observações.

#### 6.2.4.5. Monitoramento para análise da eficácia da remediação

A etapa de monitoramento da área consistiu na realização de campanhas de amostragem e análises químicas do *site* afetado pela substância química de interesse (SQI), em intervalos de tempo predefinidos (ver Figuras 11 e 12), e na análise da eficácia da remediação.

Figura 11 - Monitoramento do pH da área contaminada



Fonte: Empresa (à esquerda pH no ano de 2014 e à direita pH no ano de 2015).

Figura 12 - Monitoramento da concentração de ferro da área contaminada



Fonte: Empresa (à esquerda [Fe] no ano de 2014 e à direita [Fe] no ano de 2015).

A SINDICOM (2015) determina que o plano de monitoramento deverá ser empregado, quando as SQI forem inferiores às CMA (concentrações máximas admissíveis) ou PLA's (padrões legais aplicáveis). Desta forma, devem ser aplicados os seguintes itens para o cumprimento desta etapa: a) Definição de cronograma de amostragem para monitoramento, com periodicidade semestral, coincidentes com os períodos de maior e menor elevação do nível da água subterrânea, durante pelo menos 02 (dois) anos; b) definição do plano de amostragem, relacionando o meio físico de interesse que será amostrado e as SQIs a serem analisadas; c) emissão de relatórios após a finalização de cada campanha de amostragem contendo texto, mapas e tabelas com os resultados das campanhas de monitoramento para encerramento, comparados com a CMA e PLA definidas para área de interesse; d) verificação das plumas de contaminação nas campanhas de monitoramento para encerramento, considerando o VI (Valor de Intervenção) para cada SQI.

Sendo observadas concentrações das SQIs em valor superior ao CMA ou PLA durante as campanhas de monitoramento, deve-se verificar se essa concentração é superior em até 50% da CMA e PLA. Caso isto ocorra, realizar uma campanha adicional de amostragem, onde a concentração máxima deve ser inferior a CMA ou PLA, para considerar o encerramento do monitoramento. Caso sejam encontradas concentrações superiores a 50% da CMA e PLA, devem-se rever as medidas de intervenção aplicáveis a fim de gerenciar o risco na área de interesse.

### 6.3. INSPEÇÃO EM CANALETAS

A inspeção em canaletas é de extrema importância para prevenir e evitar contaminação no solo, assim como nas águas subterrâneas e superficiais. Em uma organização, todos os colaboradores têm a obrigação de registrar, sinalizar e comunicar, o mais rápido possível, qualquer situação que possa gerar um desvio ambiental. Os gestores devem avaliar de forma sistêmica para decidir qual ação melhor se enquadra na solução do problema. Desta forma,

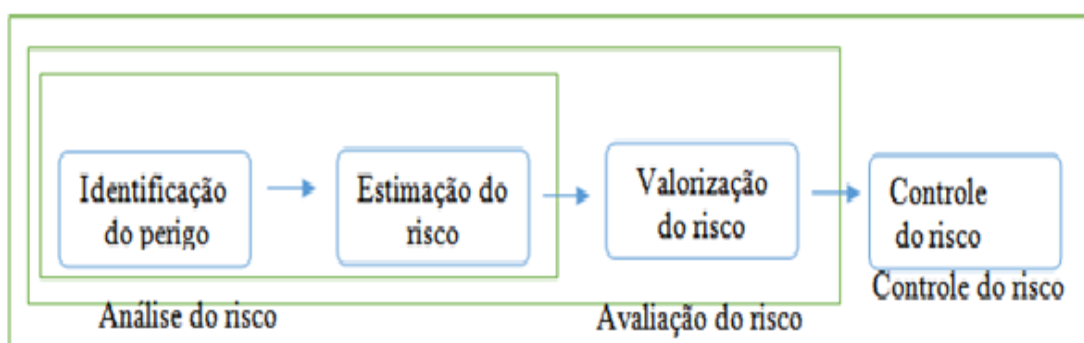
podem optar por ações preventivas, ações corretivas, ações emergenciais, ações institucionais e/ou ações combinadas, que melhor se enquadrem em um plano de intervenção. As ações preventivas visam eliminar uma não conformidade que possa causar um dano, diferente da ação corretiva que visa evitar a recorrência de um dano. As ações emergenciais são adotadas como prioridade, em cenários que contenha substâncias perigosas à vida, à saúde humana e aos bens ambientais a proteger. Já as ações institucionais visam a restrição de áreas que contenha algum risco em potencial, assim como consumo de água, vegetais, etc. que possam estar contaminados. A Figura 13 representa uma etapa no modelo de gerenciamento de risco que auxilia na tomada de decisão.

Nas inspeções de canaletas deverão ser verificadas os seguintes itens:

- Estado da cobertura;
- Estado das bordas;
- Estado das paredes internas;
- Nível de sólidos nas canaletas.

A formação de uma equipe para inspeção e emissão de relatórios quando feita verificação *in situ* é uma boa prática.

Figura 13 - Análise e Avaliação de risco



Fonte: NBR ISO 31000 (adaptado pelo autor).

### 6.3.1. Recuperação de Canaletas

Em caso de recuperação de trechos (ver Figura 14), parte da canaleta deverá ser bloqueada, impossibilitando o fluxo de qualquer substância, atingindo os resultados esperados que é a garantia da funcionalidade adequada da canaleta. As barreiras físicas, executadas tanto no perímetro externo da canaleta a ser recuperada quanto na seção transversal, podem ser de concreto ou tijolos antiácidos no interior. Já no perímetro poderá ser de tijolos comuns ou concreto.

Caso o trecho da canaleta a ser recuperado esteja em área de trânsito de veículos, a atenção deverá ser redobrada no que tange às bordas da mesma e tampos para cobertura. Na inspeção identificam-se possíveis trincas, fissuras e rachaduras que deverão ser tratadas. Caso haja comprometimento do revestimento (borracha de acrílico nitrila – PVC – anticorrosiva), deve-se avaliar a estrutura de concreto armado sob o revestimento. Estando as ferragens aparentes, avalia-se o estado de corrosão para possível substituição.

Figura 14 - Reforma das canaletas



Fonte: Empresa.

### 6.3.2. Procedimento para Inspeção em Canaletas

O procedimento de inspeção está pautado nas melhores práticas dos modelos de gestão e ferramenta da qualidade citadas neste trabalho, visando prevenir um dano ambiental. O procedimento (Quadro 1) determina o responsável pela ação, os recursos necessários, as ações desenvolvidas, os resultados esperados, os desvios e as não conformidade.

Quadro 1 - Procedimento para Inspeção em Canaletas

<b>1.0 O que</b>	<b>Inspecionar canaletas.</b>
1.1 Por que	Prevenir e evitar aportes de contaminação no solo e nas águas subterrâneas
1.2 Quem	Responsável pelo meio ambiente e equipe multidisciplinar.
1.3 Quando	As inspeções devem ser realizadas conforme requisitos legais ou exigências administrativas.
1.4 Onde	Em todas as canaletas da área industrial
<b>2.0</b>	<b>Recursos materiais necessários</b> Equipamentos específico para inspeção (alavanca e máquina fotográfica)
<b>3.0</b>	<b>Ações desenvolvidas</b>

3.1	Inspeção no estado da cobertura, estado das bordas, estado das paredes internas e nível dos sólidos.
3.2	Inspeção nos pontos para medição do nível dos sólidos serão definidos no local juntamente com a equipe de inspeção
<b>4.0</b>	<b>Resultados esperados</b> Garantir a funcionalidade adequada das canaletas, direcionar o escoamento, detectar infiltrações.
<b>5.0</b>	<b>Desvios</b>
5.1	Emitir relatório de inspeção com atraso. Neste caso deve-se delegar essa função a outra pessoa da equipe com tempo suficiente para elaboração do mesmo.
5.2	Inspeção incompleta ou ineficiente. Neste caso, deve-se convocar pessoal responsável para finalizar inspeção de forma adequada.
<b>6.0</b>	<b>Consequências das não conformidades</b> Inspeções e manutenção preventivas com atrasos ou deficientes.

### 6.3.3 Monitoramento Preventivo

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), por meio da DD nº 038/2017, determina que o Monitoramento Preventivo (MP) da qualidade do solo e da água subterrânea deve ser implementado, quando houver solicitação da Licença de Instalação ou da renovação da Licença de Operação, de acordo com alguns cenários, como:

- Nas Áreas com Potencial de Contaminação (AP) onde ocorre o lançamento de efluentes ou resíduos no solo como parte de sistemas de tratamento ou disposição final;
- Nas Áreas com Potencial de contaminação (AP) onde ocorre o uso de solventes halogenados;
- Nas Áreas com Potencial de Contaminação (AP) onde ocorre a fundição secundária ou a recuperação de chumbo ou mercúrio.

A unidade fabril, abordada no estudo de caso, atende ao critério da Cetesb, referente a renovação da licença de operação. Neste sentido, a empresa está alinhando com a solicitação do órgão ambiental. Outrossim, devida o incidente ambiental relatado nesta pesquisa, a empresa ampliou a malha amostral de 150 pontos para 174, a fim de abranger significativamente a área de localização.

Os pontos compreendem: 86 piezômetros para a medição do nível do lençol freático, 32 poços de bombeamento que são utilizados no bombeamento de águas contaminadas, barreira hidráulica, 09 poços de observação para monitoração do Nível Dinâmico (ND), 03 drenos de superfície para a eliminação da água que cobre a superfície da área, 08 poços multiníveis para monitoramento da concentração da SQI em cotas diferentes, 09 poços de background utilizados para comparar concentrações de SQI e avaliar riscos potenciais de contaminação e 03 poços cacimbas para fácil inspeção visual e coleta de amostras, conforme a Figura 15.

Figura 15 - Malha Amostral



Fonte: Empresa.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho desenvolvido sugeriu uma integração de ferramentas e sistemas de gestão com foco na prevenção e controle de um desvio ambiental. As empresas cada vez mais vêm adotando um sistema de gestão com ações preventivas, colaborando com a legislação vigente, de forma responsável e se conscientizando da conservação ambiental para gerações atuais e futuras.

A inspeção em canaletas industriais demonstrou ser uma boa prática para evitar e corrigir um dano ambiental, visto a criticidade da função que é transportar o efluente de processo. A inspeção é uma forma de prevenção e que também ajuda no controle, caso haja um dano na canaleta.

A responsabilidade legal com o meio ambiente também foi abordada, quando afirma que todos os colaboradores, de uma unidade produtiva, têm o dever legal de atuar de forma rápida e responsável em um dano ambiental, assim que verificado.

O trabalho deixa evidente a importância de gerir uma área contaminada, com o apoio de uma empresa especializada, utilizando as intervenções condizentes com a substância contaminante e o meio físico impactado.

Avaliando o contexto e metodologia aplicada no estudo de caso (2013) foi possível perceber a evolução do segmento de remediação de áreas contaminada, que no contexto atual, trabalha-se com o máximo de informação possível, robustecendo o modelo conceitual da área em função da diminuição das incertezas.

A recuperação da canaleta, além de propiciar a funcionalidade da mesma, elimina uma via de contaminação que pode provocar danos significativos ao meio ambiente, a depender da criticidade.

A elaboração de um procedimento permite maior compreensão e aplicabilidade, orientando o colaborador, no ato da inspeção, de forma mais didática possível.

O estudo também corrobora que empresas com responsabilidade social e gestão estratégica pode obter algumas vantagens, tornando-se mais competitiva no mercado.

Por fim, conclui-se a importância em dar continuidade a pesquisa e estudo do presente trabalho, facilitando a compreensão das normas atuais vigentes, assim como na escolha das técnicas de gestão mais representativas.



## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 15515-1**: Passivo Ambiental em solo e água subterrânea. Parte 1: Avaliação Preliminar. Rio de Janeiro-RJ, 2007.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 15515-1**: Passivo Ambiental em solo e água subterrânea. Parte 2: Investigação Confirmatória. Rio de Janeiro-RJ, 2007.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 15515-1**: Passivo Ambiental em solo e água subterrânea. Parte 3: Investigação Detalhada. Rio de Janeiro-RJ, 2007.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR ISO 14001**: Sistema de gestão ambiental: especificação e diretrizes para uso, Rio de Janeiro-RJ, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR ISO 14001**: Sistema de gestão ambiental: especificação e diretrizes para uso, Rio de Janeiro-RJ, 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR ISO 31000**: Gestão de riscos – Princípios e diretrizes, Rio de Janeiro-RJ, 2018.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 13895**: Construção de poços de monitoramento e amostragem, Rio de Janeiro-RJ, 1997.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 15492**: Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento, Rio de Janeiro-RJ, 2007.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 16210**: Modelo conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas – Procedimento, Rio de Janeiro-RJ, 2013

ALEXANDRE, J.R. OLIVEIRA, M.L.F. SANTOS, T.C. CANTON, G.C. CONCEIÇÃO, J.M. EUTROPIO, F.J. CRUZ, Z.M.A. DOBBSS, L.B. RAMOS, A.C. **Zinco e ferro: de micronutrientes a contaminantes do solo**. Revista Natureza on line, 2012.

ALMEIDA, G. C. P. **Caracterização Física e Classificação dos Solos**. Minas Gerais. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2005.



ALMEIDA, T. L. **Estudo da atenuação dos contaminantes líquidos percolados no solo.** Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo-SP, 2005.

BONELLI, V. V. e JUNIOR, A. R. **Gestão da Qualidade e do Meio Ambiente**, São Paulo-SP: Ed. atlas, 2010.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para os solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo.** São Paulo-SP Dorothy, C. P. C. et al. 2001.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Guia para Avaliação do Potencial de Contaminação em imóveis**, São Paulo-SP, 2003.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas.** São Paulo, 2021.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Decisão da Diretoria (DD) Nº 038/2017/C**, São Paulo-SP, 2017.

CETREL. **Plano de gestão integrada e zoneamento de recursos hídricos no polo industrial de.** Relatório interno, Camaçari, 2012.

DOMENICO, P.A. SCHWARTZ, F.W. - **Physical and Chemical Hydrogeology** – John Wiley and Sons, Inc., Nova York, EUA, 2ª ed. 1998.

DIAS, R. **Gestão Ambiental**, São Paulo-SP: Ed. atlas, 2011.

EPA – Agency Protection Enviroment. **Industrial User Inspection and Sampling Manual for POTWs**, USA, 2017.

FALCONI, V. **TQC Controle da Qualidade Total no estilo japonês**, Minas Gerais-BH: Ed. FALCONI, 2004.

FETTER, C.W. **Applied Hydrogeology**. 4nd Edition. 4a Edição Merril Publication, 2000.

FILHO, A. N. **Segurança do Trabalho & Gestão Ambiental**, São Paulo-SP: Ed. atlas, 2001.

FURTADO, M. **Remediação de solos: Para afastar o perigo que se esconde nos subterrâneos das grandes cidades, meios legais e econômicos devem fomentar obras de descontaminação.** Química e Derivados, p.26-43, 2005.

GIL, A. C. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**, São Paulo-SP: Ed. atlas, 2010.

GIMENEZ, S. C. **Principais alterações da Normas ISO 9001 E ISO 140001 versão 2015 em relação às versões anteriores**, Salvador-Ba:Disertação de Pós-graduação - SENAI/ CETIND , 2017.

GPPmaisL - Guia Prático de Produção mais Limpa. Disponível em: <http://www.pmaisl.com.br/efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fcebd.org%2Fwp-content%2Fuploads%2F2016%2F09%2FGuia-Pra%25CC%2581tico-de-PmaisL.pdf&clen=1446830&chunk=true>. Acesso em 10 jan. 2022

INTERFACEHS. **Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade.** Centro Universitário Senac ISSN Vol. 12, São Paulo, 2017.

LAYRARGUES, P. P. **Sistema de gerenciamento ambiental, tecnologia limpa e consumidor verde: a delicada relação empres-meio ambiente no ecocapitalismo.** São Paulo: Revista de administração de empresas, 2000.

LUCHESI, B. E.; FAVERO, B. O. L.; LENZI, E. **Fundamentos da Química do Solo** 1ª edição, 2001.

MACHADO, P. A. **Direito Ambiental Brasileiro** São Paulo, Ed. MALHIEROS, 2013.

MARCONI, M. A. e LAKATOS, E. M. **Fundamentos da metodologia científica.** São Paulo: atlas S.A.,2003.

MENEZES, F. M. **Proposta para melhoria da metodologia de produção mais limpa utilizada pela CNTL por meio de inserção de ferramentas de qualidade e estatística**, Salvador-Ba:Disertação de Pós-graduação - SENAI/ CETIND , 2015.

MOERI, E. N. **Áreas contaminadas Remediação e revitalização**, Estudos de casos nacionais e internacionais. São Paulo, 2007.

MORAES, S.L. TEIXEIRA, C.E. MAXIMIANO, A.M.S. **Guia de elaboração de planos de intervenção para o Gerenciamento de áreas contaminadas**. Instituto de Pesquisas 68 Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT. 1ª Ed. 2014.

RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos. **Inserção da Água Subterrânea no Sistema Nacional de Gerenciamento**. São Paulo-SP, 2002.

Resolução CONAMA nº 420. **Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto a presença das substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência da atividade antrópica**, Brasília-DF, 2009.

Resolução CONAMA nº 430. **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**, Brasília-DF, 2011.

SANCHES, V. L. **Remediação de Solos da Formação São Paulo Contaminados por Vapores de Gasolina**. São Paulo: Dissertação de Mestrado em Engenharia Hidráulica, Universidade de São Paulo, 2009.

SANTIAGO, B. S. **Dificuldades na implantação da NBR 14001:2004. Estudo de caso em uma empresa que atua no setor de transporte rodoviário de produtos e resíduos perigosos**. Dissertação (Pós-graduação) - SENAI/ CETIND, Salvador, 2015

SANTOS, E. A. **Cimitérios de Camaçari: Diagnostico do atendimento à legislação ambiental**. Salvador-Ba: Dissertação de Pós-graduação - SENAI/ CETIND , 2015.

SANTOS OLIVEIRA, A.M. ALVES DE BRITO, S.N. **Geologia de Engenharia**. 1ª edição. ABGE. São Paulo, 1998.

SINDICOM, **Procedimentos de gestão de áreas contaminadas para bases e terminais**, 2015.

TEIXEIRA, P. C. DONAGEMMA, G.K. FONTANA, A. TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**, Brasília - DF: Embrapa, 2017.

TEIXEIRA, W. MOTA DE TOLEDO. M.C. FAIRCHILD. T.R. TAIOLI. F. **Decifrando a Terra**. 2 ed. Companhia Editora Nacional. São Paulo, 2009.

