

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

CAMILA BEATRIZ DA SILVA LACERDA

**AVALIAÇÃO DAS PRINCIPAIS FONTES DE CONTAMINAÇÃO DO SOLO E DA
ÁGUA SUBTERRÂNEA EM INDÚSTRIAS DE PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES**

São Paulo

2024

CAMILA BEATRIZ DA SILVA LACERDA

Avaliação das principais fontes de contaminação do solo e da água subterrânea em indústrias de produção de fertilizantes

Versão Corrigida

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*.

Orientador: Vicente de Aquino Neto

São Paulo

2024

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

Lacerda, Camila Beatriz

Avaliação das principais fontes de contaminação do solo e da água subterrânea em indústrias de produção de fertilizantes / C. B. Lacerda -- São Paulo, 2024.

53 p.

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

1.Áreas contaminadas 2.Fertilizantes (Produção) 3.Fertilizantes (Contaminação) 4.Avaliação preliminar I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

RESUMO

LACERDA, Camila. Avaliação das principais fontes de contaminação do solo e da água subterrânea em indústrias de produção de fertilizantes. 2024. 53p. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de *Brownfields*) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

O Brasil, apesar de ser um dos maiores produtores e exportadores globais de grãos, é marcado pela diminuição na produção nacional de fertilizantes e a dependência de importações, gerando a necessidade de elaborar um novo Plano Nacional de Fertilizantes para melhorar a eficiência produtiva e reduzir a dependência externa, com o intuito de prevenir crises e garantir da segurança alimentar da população. Esse aumento projetado na produção de fertilizantes apresenta potenciais impactos ambientais negativos, incluindo contaminação do solo e água. A implementação de legislações específicas, como a Resolução CONAMA nº 420, visa gerenciar áreas contaminadas, através de etapas que incluem a identificação, o diagnóstico e a intervenção. Sendo assim, este estudo propõe identificar as fontes potenciais de contaminação, substâncias químicas de interesse e mecanismos de liberação em um processo de produção de fertilizantes NPK, que é a formulação composta pelos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Inicialmente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica para levantar informações sobre os processos produtivos de fertilizantes NPK, as áreas fontes de contaminação do solo e da água subterrânea e as medidas preventivas que possam eliminar ou controlar as potenciais fontes de contaminação relacionadas a estes processos. Este estudo analisou dados bibliográficos e documentos de licenciamento de quatro empresas deste segmento para identificar fontes potenciais de contaminação relacionadas aos processos produtivos de acidulação, granulação e mistura de fertilizantes, bem como as substâncias químicas de interesse e os possíveis impactos ambientais, ressaltando a importância de considerar as particularidades de cada empreendimento. Como resultado, foi elaborado o modelo conceitual inicial genérico e proposto um plano de amostragem genérico para o desenvolvimento da investigação confirmatória, servindo como guia para profissionais na elaboração de estudos preliminares, além de subsidiar a análise de relatórios técnicos, contribuindo para a gestão adequada de áreas contaminadas.

Palavras-chave: Áreas contaminadas. Fertilizantes (Produção). Fertilizantes (Contaminação). Avaliação preliminar.

ABSTRACT

LACERDA, Camila. Assessment of the main means of soil and groundwater contamination in a fertilizer production industries. 2024. 53p. Monografia (MBA in Contaminated Area Management, Sustainable Urban Development and Brownfields Revitalization) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

Despite being one of the largest global producers and exporters of grains, Brazil is marked by a decrease in national fertilizer production and dependence on imports, generating the need to develop a new National Fertilizer Plan to improve productive efficiency and reduce external dependence, aiming to prevent crises and ensuring food security for the population. This projected increase in fertilizer production presents potential negative environmental impacts, including soil and water contamination. The implementation of specific legislation, such as CONAMA No. 420 Resolution, aims to manage contaminated areas, through steps that include identification, diagnosis, and intervention. Therefore, this study proposes to identify potential sources of contamination, interest chemicals substances, and release mechanisms in an NPK fertilizer production process, which is the formulation composed of the macronutrients nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K). Initially, a bibliographic research was carried out to gather information about the NPK fertilizer production processes, sources of soil and groundwater contamination, and preventive measures that can eliminate or control potential sources of contamination related to these processes. This study analyzed bibliographic data and licensing documents from four companies in this segment to identify potential sources of contamination related to the production processes of acidulation, granulation, and fertilizers blending, as well as interest chemicals and possible environmental impacts, emphasizing the importance of considering the particularities of each company. As a result, a generic initial conceptual model was developed, and a generic sampling plan was proposed for the development of confirmatory investigation, serving as a guide for professionals in the elaboration of preliminary studies, as well as supporting the analysis of technical reports, contributing to the proper management of contaminated areas.

Keywords: Contaminated areas. Fertilizers (Production). Fertilizers (Contamination). Preliminary assessment.

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

ACI – Área contaminada sob investigação;

ACRi – Área contaminada com risco confirmado;

ACRu – Área contaminada em processo de reutilização;

ACRe – Área contaminada em processo de remediação;

AME – Área em processo de monitoramento para encerramento;

AP – Área com potencial de contaminação;

AR – Área reabilitada para o uso declarado;

AS – Área com suspeita de contaminação;

BPF – Óleo combustível com baixo ponto de fluidez;

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo;

CNPJ – Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica;

CODRAM – Correlação entre os ramos de atividades licenciáveis do Estado;

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente;

DAP – Fosfato diamônico;

DD – Decisão de Diretoria;

ETA – Estação de tratamento de água;

ETEL – Estação de tratamento de efluente líquido;

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler;

GAC – Gestão de áreas contaminadas;

GLP – Gás liquefeito de petróleo;

MAP – Fosfato monoamônico;

MCA – Modelo conceitual da área;

NBR – Normas Técnicas Brasileiras;

NPK – Símbolos na tabela periódica para os elementos para nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K);

P_2O_5 – Pentóxido de fósforo;

SAM – Sulfato de amônio;

SOL – Sistema Online de Licenciamento Ambiental;

SQI – Substância química de interesse;

SSP – Superfosfatos simples;

TSP – Superfosfatos triplo;

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVOS	3
3.	JUSTIFICATIVA	4
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
4.1	Produção de fertilizante NPK.....	5
4.2	Fontes potenciais de contaminação na produção de fertilizantes NPK.....	11
4.3	Medidas de controle e mitigação para as fontes potenciais de contaminação na produção de fertilizantes NPK.....	12
4.4	Gerenciamento de Áreas Contaminadas.....	14
5.	MATERIAIS E MÉTODOS	19
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
6.1	Processos de produção de fertilizantes NPK	21
6.1.1	Produção de Superfosfatos	23
6.1.2	Produção de Fertilizante Granulado	25
6.2	Processos de mistura de fertilizantes NPK.....	27
6.3	Identificação das atividades com potencial de contaminação em cada etapa do processo produtivos das indústrias avaliadas e as respectivas substâncias químicas de interesse	30
6.4	Desenvolvimento do Modelo Conceitual Inicial genérico (MCA)	32
7.	CONCLUSÕES.....	43
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1. INTRODUÇÃO

Como resposta à urgente necessidade de enfrentar os desafios emergentes nos domínios ambiental, econômico e governamental, a Agenda 2030 foi estabelecida como um compromisso internacional entre países, com o intuito de promover o desenvolvimento sustentável. Um dos objetivos centrais dessa agenda é a eliminação da fome e insegurança alimentar, bem como a erradicação de todas as formas de desnutrição. No entanto, a crescente urbanização apresenta um cenário desafiador, impulsionando alterações em todos os sistemas agroalimentares, o que, por conseguinte, gera tanto desafios quanto oportunidades para assegurar que todos tenham acesso a dietas saudáveis e economicamente acessíveis. Um dos desafios enfrentados reside no crescente aumento da necessidade por alimentos, o que, por consequência, resulta em uma elevação correspondente da demanda por fertilizantes.

No contexto nacional, o Brasil, classificado como o quarto maior produtor global de grãos e o segundo maior exportador em 2020, contribuiu com 7,8% da produção e 19% das exportações totais no cenário mundial. Apesar desses números expressivos, há uma projeção da necessidade de aumento de aproximadamente 40% na produção nacional de alimentos até 2050, visando atender à crescente demanda global. Entretanto, ao longo das últimas duas décadas, o país experimentou uma notável dependência nas importações de produtos e tecnologias, resultando em uma diminuição de 33% na produção de fertilizantes, ao passo que as importações aumentaram significativamente, atingindo 66% (SAE, 2021).

Na contemporaneidade, o Brasil detém uma participação de aproximadamente 8% no consumo mundial de fertilizantes, sendo que mais de 80% dos fertilizantes utilizados no país são importados. Como resultado, a produção nacional representa menos de 1/5 da demanda interna. Nesse contexto, foi proposta a elaboração de um novo Plano Nacional de Fertilizantes, onde uma das principais diretrizes é aprimorar tanto a eficiência da produção quanto da comercialização de fertilizantes no Brasil, com o intuito de reduzir a dependência externa tecnológica. Outrossim, busca-se prevenir possíveis crises, aumentar a competitividade do agronegócio brasileiro no mercado internacional e observar rigorosamente as normativas ambientais (SAE, 2020).

Diante da projeção do aumento da produção de fertilizantes no Brasil, assim como em todos os outros setores industriais, esta atividade industrial apresenta um significativo potencial de desencadear impactos negativos adversos ao meio ambiente, como a contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais, rebaixamento do lençol freático, escassez de água potável,

poluição do ar, desmatamento, alterações climáticas, afugentamento de fauna ameaçada, entre outros.

Uma abordagem para assegurar o equilíbrio, a proteção e a preservação ambiental envolve a implementação de legislações específicas que estabeleçam critérios e parâmetros técnicos a serem seguidos por pessoas físicas e jurídicas. No que tange o gerenciamento de áreas contaminadas, na esfera Federal, o Conselho Nacional do Meio Ambiente instituiu a Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009, que estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas em decorrência de atividades antrópicas (CONAMA, 2009).

Essa Resolução institui que os órgãos ambientais competentes devem definir procedimentos e iniciativas para investigar e gerenciar a contaminação, abrangendo as seguintes etapas: a) identificação, envolvendo uma avaliação preliminar para identificar áreas suspeitas de contaminação e uma investigação confirmatória para áreas com potencial ou suspeita de contaminação; b) diagnóstico, por meio de uma investigação detalhada e avaliação de risco, quando confirmada a contaminação, para subsidiar a intervenção; c) intervenção, que inclui a implementação de ações de controle para eliminar o perigo ou reduzi-lo a níveis toleráveis, juntamente com o monitoramento da eficácia dessas ações (CONAMA, 2009).

Como primeira etapa, a avaliação preliminar possibilita a elaboração do modelo conceitual inicial para o desenvolvimento de um plano de investigação confirmatória e o levantamento de dados que permitem a gestão da área confirmada como contaminada. Os resultados de uma boa avaliação preliminar possibilitam a condução apropriada de todas as fases subsequentes do procedimento de gerenciamento de áreas contaminadas. Portanto, essa etapa é crucial para compreender adequadamente como a atividade pode ter impactado a qualidade ambiental. Este diagnóstico é de suma importância, devendo resultar em um modelo conceitual que integre todos os dados da área e indique quando há necessidade de buscar informações adicionais (ABNT, 2022), com o objetivo de assegurar a eficácia das investigações e das ações futuras para a remediação da área, visando seu uso seguro tanto no presente quanto no futuro.

Dessa forma, este estudo propõe identificar os principais meios de contaminação do solo e da água subterrânea em um processo de acidulação e granulação para produção de fertilizantes NPK, com o objetivo de dar suporte nas avaliações preliminares que sejam desenvolvidas em áreas com este tipo de atividade industrial. Além disso, o presente estudo aborda as tecnologias de remediação usualmente adotadas para as substâncias de interesse predominantes identificadas.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é apresentar informações detalhadas sobre os processos industriais genéricos desenvolvidos na produção de fertilizantes NPK, identificando as principais fontes potenciais de contaminação, substâncias químicas de interesse e os meios de transporte destas substâncias químicas para o solo e água subterrânea nos processos de acidulação e granulação de fertilizantes, bem como indicar quais tecnologias podem ser empregadas para remediação de uma área contaminada com substâncias oriundas dessas atividades industriais.

Os objetivos específicos são:

- a)** Apresentar as características dos processos de acidulação e granulação na produção de fertilizantes;
- b)** Identificar as principais fontes potenciais de contaminação nestes processos;
- c)** Apontar os principais meios de transporte de contaminantes para o solo e água subterrânea e as principais substâncias de interesse a serem tratadas;
- d)** Indicar as tecnologias disponíveis e mais adequadas para remediação de áreas contaminadas com estas substâncias de interesse.

3. JUSTIFICATIVA

Uma das grandes problemáticas em pauta é a garantia da segurança alimentar nas nações, que, com o aumento populacional e o objetivo mundial em combater a fome, aumenta a demanda por alimentos e, conseqüentemente, a necessidade em ampliar a capacidade produtiva de fertilizantes no mercado global.

O Brasil, apesar de ocupar a quarta posição no consumo global de fertilizantes, ainda depende muito do mercado internacional para atender todas as demandas internas do agronegócio. Por esta razão, a Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos elaborou, em 2021, o Plano Nacional de Fertilizantes 2050, que tem como um dos objetivos ampliar a produção de fertilizantes no Brasil.

Apesar do avanço das tecnologias desenvolvidas para controle e mitigação dos impactos negativos ao meio ambiente, as atividades industriais ainda possuem um relevante potencial de contaminação do solo e da água subterrânea. E a indústria de fertilizantes não está isenta de causar tais impactos.

Assim, o presente trabalho vem apresentar as potenciais fontes de contaminação do solo e da água subterrânea, bem como as principais substâncias de interesse, visando a identificação dos tipos de remediação que podem ser adotados para tratamento de plumas de contaminação usualmente formadas em uma indústria de produção de fertilizantes NPK, e assim, servir de documento base, para avaliação preliminar que sejam desenvolvidas em diferentes unidades industriais.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Produção de fertilizante NPK

Segundo Lopes *et al*, fertilizante é um produto mineral ou orgânico, natural ou sintético, fornecedor de um ou mais nutrientes para os vegetais. Uma outra definição descreve fertilizante minerais como materiais naturais ou manufaturados, que contêm nutrientes essenciais para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, onde três dos principais nutrientes são o nitrogênio, fósforo e potássio (ISHERWOOD, 2003), que misturados compõem as fórmulas NPK. Contudo há outros elementos que são essenciais para o crescimento das plantas, como o cálcio, magnésio, enxofre e micronutrientes. À vista disto, os fertilizantes são categorizados com base na sua composição, quantidade de nutrientes e tipo de macronutriente primário presentes em sua composição (SAE, 2020). Isso significa que os principais nutrientes são combinados em diferentes proporções para formular o fertilizante de acordo com as exigências de aplicação no solo.

A indústria de fertilizantes fosfatados pode ser categorizada em três principais segmentos: ácido fosfórico, fosfato de amônio granular e superfosfato simples e triplo. Em síntese (SETH, 2020):

- a) O ácido fosfórico (H_3PO_4) pode ser produzido por meio de um processo úmido ou térmico, envolvendo a reação da rocha fosfática com ácido sulfúrico. No método úmido, o ácido fosfórico possui uma concentração de fósforo na faixa de 26-30%, expressa como pentóxido de fósforo (P_2O_5), sendo empregado na produção de fosfatos de amônio e superfosfatos triplos. Já o ácido fosfórico obtido no processo térmico é geralmente destinado à produção de produtos químicos de alta qualidade que requerem um nível mais elevado de pureza;
- b) O fosfato de amônio ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) é produzido pela reação do ácido fosfórico com amoníaco anidro, resultando nos tipos mais comuns conhecidos com fosfato monoamônico (MAP) e o fosfato diamônico (DAP). O DAP, que fornece uma grande quantidade de nutrientes para as plantas, e destaca-se por sua facilidade de armazenamento e manuseio, baixo teor de nitrogênio e elevado teor de fósforo, compatibilidade com a maioria dos ingredientes para produção do fertilizantes mistos (NPK) e por sua não explosividade. Além disso, pode ser aplicado diretamente ou utilizado em sistemas de irrigação, pois é completamente solúvel em água. Por outro lado, o MAP possui uma concentração maior de pentóxido de

fósforo, sendo a escolha preferida para solos alcalinos, e pode ser aplicado diretamente no solo ou como parte de uma mistura seca;

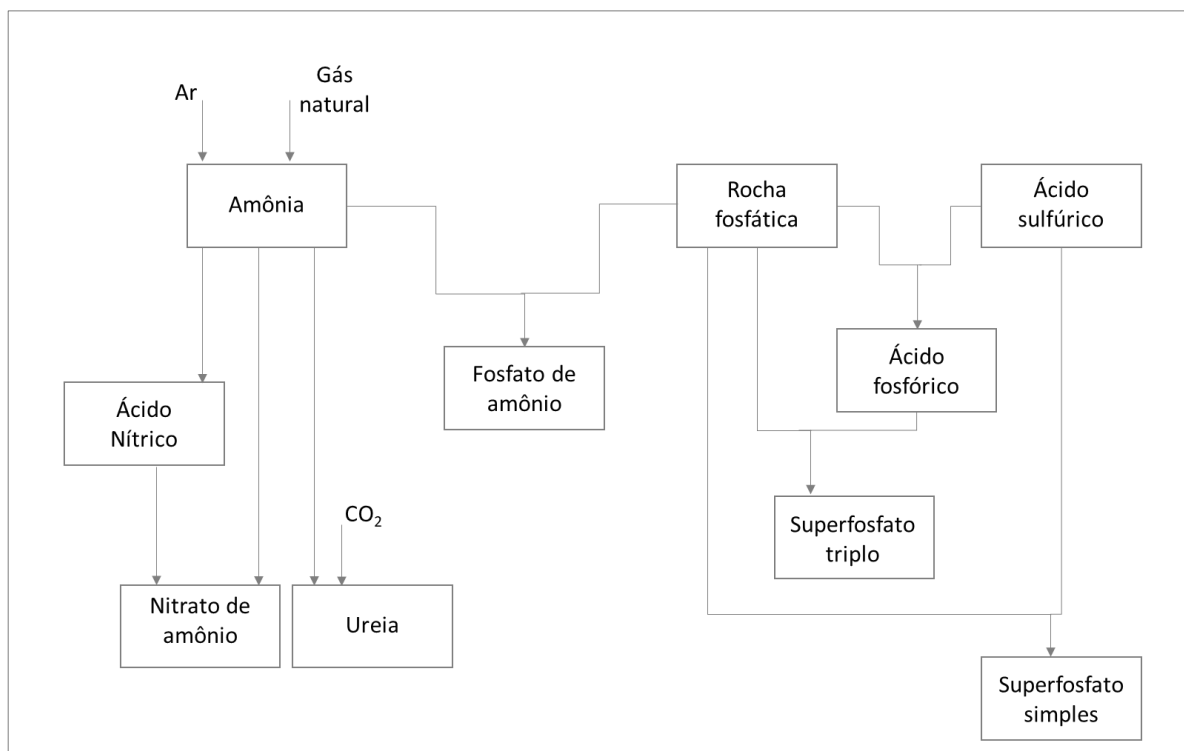
- c) Tal como o ácido fosfórico, os fertilizantes superfosfatados simples (SSP) são produzidos pela reação da rocha fosfática com o ácido sulfúrico e representam os fertilizantes que contém 15 a 21% de fósforo na forma de pentóxido de fósforo (P_2O_5). Esse fertilizante geralmente retém o sulfato de cálcio formado pela reação entre a rocha fosfática e o ácido sulfúrico e, por esta razão, mantém a sua relevância sempre que a deficiência de enxofre limita o rendimento das colheitas. Já os superfosfatos triplos (TSP), também denominado duplo ou concentrado, são produzidos pela reação de rocha fosfática moída com ácido fosfórico. O teor de fósforo no TSP excede 40%, expresso como pentóxido de fósforo, o que constitui a sua principal vantagem em relação a outros fertilizantes fosfatados, porém é incompatível com ureia, uma fonte comum de nitrogênio para produção de NPK. O TSP pode ser aplicado diretamente ao solo ou como uma mistura a granel. O SSP e o TSP são comumente empregados como um aditivo na produção de fertilizantes granulares e podem, também, serem processados para comercialização como superfosfato granulado ou fertilizante granular misto.

As matérias-primas essenciais na produção de fertilizantes incluem a rocha fosfática, o gás natural, o ácido sulfúrico e o dióxido de carbono. Esses materiais são misturados por meio de vários métodos e em proporções diversas para criar uma ampla gama de fertilizantes, conforme esquematizado na figura 01.

De modo geral, a produção de fertilizantes fosfatados inicia-se com a extração de rochas ricas de minerais do grupo apatita, que quase sempre estão presentes nas rochas carbonatíticas (LUZ, 2005). Nessa fase, é obtida a rocha fosfática que, após ser beneficiada, é misturada com o ácido sulfúrico ou ácido fosfórico, no processo de acidulação, para produção dos fertilizantes básicos SSP e TSP (PROPEQ, 2020).

O processo de acidulação é definido, de acordo com a *The Fertilizer Encyclopedia*, como o processo de tratar uma substância com ácido. Esse método tem como objetivo remover, ativar ou solubilizar o material ou parte de sua composição, parcialmente ou totalmente. Dessa forma, ao acidular uma matéria-prima, tornamos os nutrientes presentes solúveis e acessíveis para absorção pela planta, promovendo seu desenvolvimento e aumentando a sua produtividade (CHADWICK, 1988).

Figura 01 – Fluxograma das matérias-primas para os principais fertilizantes

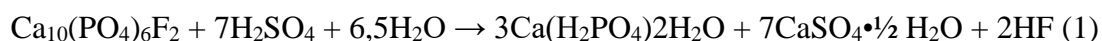


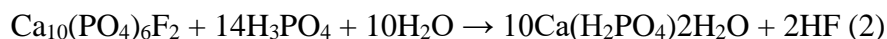
Fonte: Traduzido de *Profile of the Agricultural Chemical, Pesticide, and Fertilizer Industry*, (SETH, 2020).

Durante o processo de acidulação, são implementadas etapas como a moagem da rocha fosfática, visando aumentar a área de contato entre a rocha e o ácido para aumentar a velocidade da reação. Subsequentemente, a rocha é transportada à balança dosadora para assegurar a quantidade precisa de rocha na reação, e ao reator, onde é introduzido o ácido sulfúrico diluído (65 a 75%) para iniciar a reação química na produção de SSP. Já para a produção de TSP é utilizado o ácido fosfórico a 50% (SETH, 2020). É importante citar que a presença de ferro e alumínio na matéria-prima aumenta o consumo de ácido necessário para o processo de acidulação, resultando em um produto de menor qualidade (FARIAS, 2015).

A mistura resultante forma uma polpa que flui de maneira contínua por uma correia de reação, continuando a reação e solidificando, por cerca de uma hora (FARIAS, 2015). Esse produto sólido é formado com elevada porosidade e baixo peso específico (CETESB, 2017). As reações químicas envolvidas nesse processo são (SCANDOLEIRA, 2012):

a) Produção de SSP:



b) Produção de TSP:

No final da correia de reação, a camada de superfosfato formada é fragmentada por um desintegrador. O produto final é encaminhado ao armazém de cura, onde repousa por cerca de quatro a seis semanas, propiciando a conclusão da reação e atingindo a quantidade especificada de P_2O_5 , que deve ser entre 16,0% e 18,0% para o superfosfatos simples e entre 38,0% e 46,0% para o superfosfatos triplo (FARIAS, 2015). Após esse período de cura, o produto final pode ser comercializado a granel e ensacado ou granulado na própria indústria.

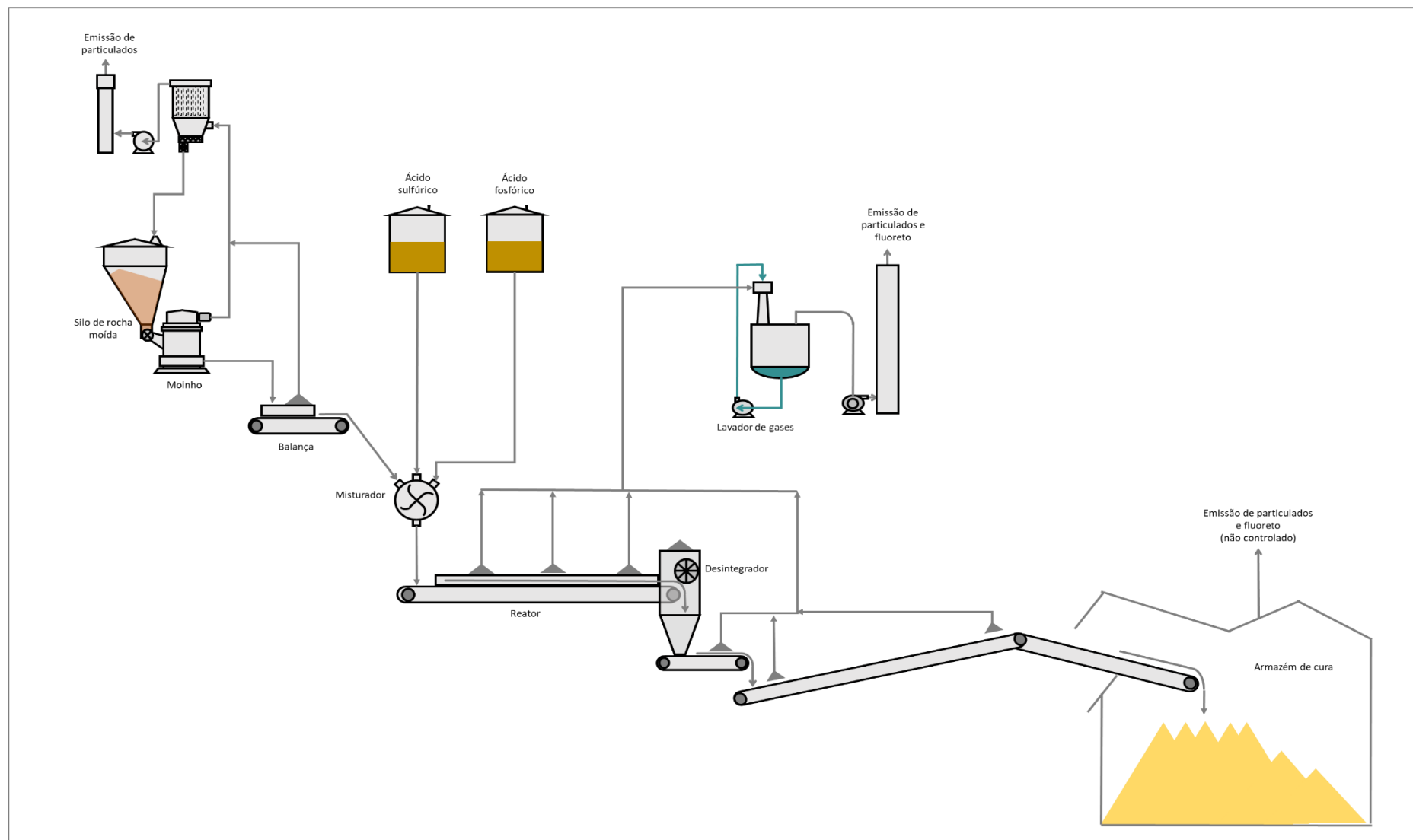
O material particulado gerado ao longo de todo o processo é controlado com ciclones e filtros e os gases formados no reator são normalmente tratados em lavadores de gases (SETH, 2020).

A fabricação de granulados não implica em reações químicas. O superfosfato simples e/ou triplo é conduzido ao granulador rotativo, onde podem receber a adição de água, vapor d'água e ácido para ajudar na formação dos grãos, sendo granulometria ideal para fertilizantes granulados a faixa de 2,0 mm e 4,0 mm (SETH, 2020). Em seguida, o produto é encaminhado a um secador rotativo, onde é secado por um fluxo de gases quentes, com o propósito de eliminar a água livre. Do secador, o material passa por peneiras vibratórias para a seleção do produto em três frações: aquela que atende às especificações de granulometria, os finos e os grossos. Os grãos finos são reintroduzidos no processo por meio do fluxo de reciclo, enquanto os grãos grossos passam pelo processo de moagem e retornam às peneiras, estabelecendo assim um circuito fechado entre a peneira e o moinho, ou são direcionados ao granulador como reciclo após a moagem. O material que atende às especificações é direcionado para o resfriador e, posteriormente, é armazenado para expedição (CETESB, 2017).

As partículas provenientes das etapas de transporte, secagem, peneiramento e resfriamento são geralmente controladas por meio de ciclones e filtros de mangas. Por outro lado, os gases liberados pelo granulador, ciclones e filtros de mangas são tipicamente tratados por lavadores de gases (SETH, 2020).

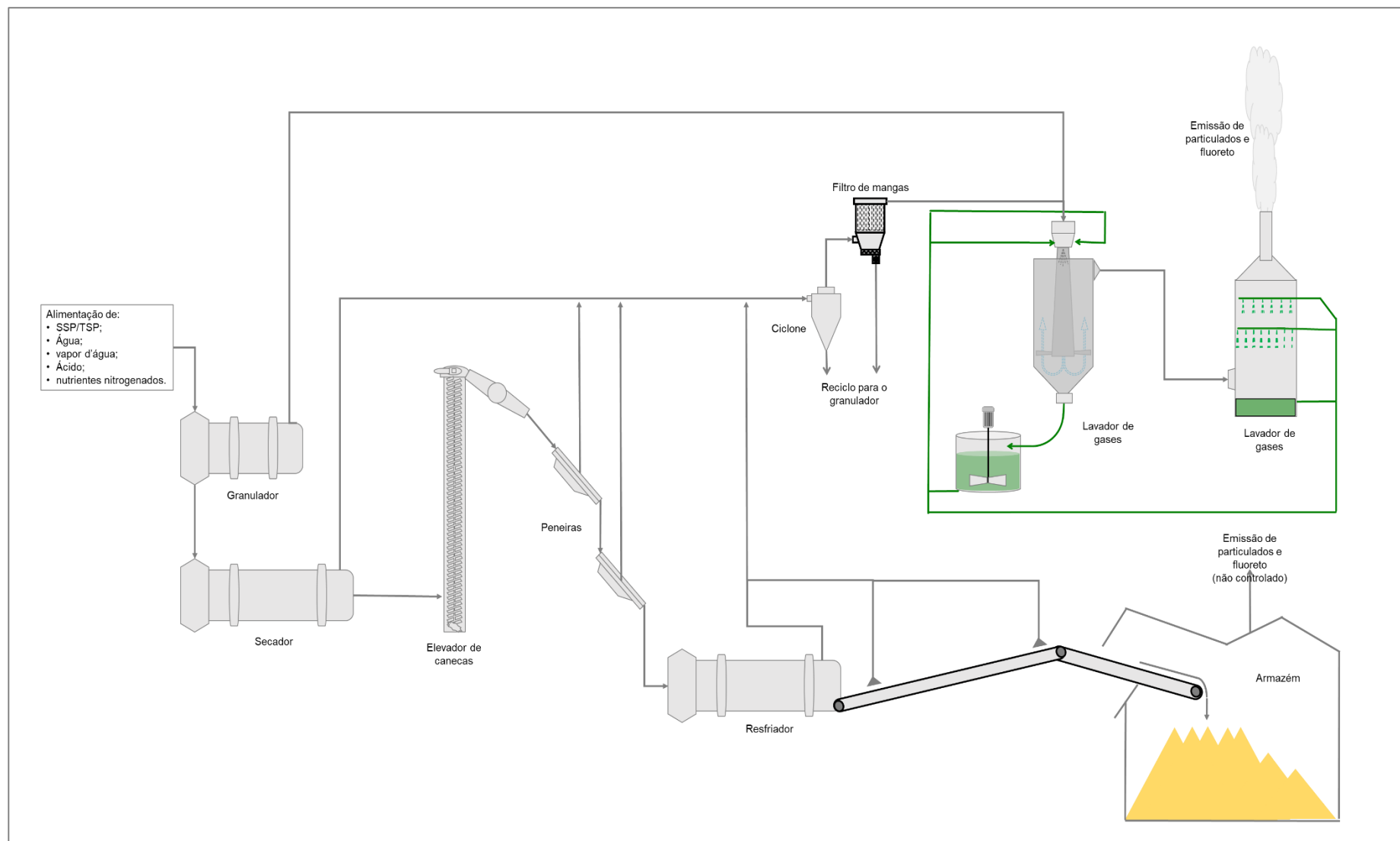
As figuras 02 e 03 apresentam os fluxograma do processo de produção do fertilizante acidulado (SSP e TSP) e granulado, respectivamente.

Figura 02 – Fluxograma simplificado da produção de superfosfatos



Fonte: Adaptado de *Profile of the Agricultural Chemical, Pesticide, and Fertilizer Industry*, (SETH, 2020).

Figura 03 – Fluxograma simplificado da produção de fertilizante granulado



Fonte: Adaptado de *Profile of the Agricultural Chemical, Pesticide, and Fertilizer Industry*, (SETH, 2020).

Na produção de fertilizantes granulados NPK, o processo assemelha-se ao descrito anteriormente, contudo, os superfosfatos recebem a adição de outros nutrientes nitrogenados, como amônia, sulfato de amônio e ureia, além de ácido fosfórico e/ou sulfúrico para fixação do nitrogênio (CETESB, 2017).

Não obstante, uma parte significativa do setor dos fertilizantes apenas adquire os produtos a granel de instalações industriais e mistura-os para comercializá-los como formulação de fertilizante misto NPK, onde os materiais granulares mais comuns são: o nitrato de amônio, ureia, sulfato de amônio, DAP, MAP, superfosfato simples e triplo, cloreto de potássio e materiais inertes para melhorar a consistência ou facilitar a aplicação, como a argila, areia, gesso e água (SETH, 2020).

As unidades de mistura de fertilizantes consistem em cinco etapas principais (SETH, 2020):

- a) Armazenamento dos materiais fertilizantes;
- b) Transporte dos materiais para os misturadores;
- c) Dosagem dos materiais;
- d) Processo de mistura;
- e) Transferência da mistura final para silos ou embalagens destinadas ao transporte.

4.2 Fontes potenciais de contaminação na produção de fertilizantes NPK

Os resultados da poluição são resumidos em termos de emissões atmosféricas, águas residuais e resíduos.

No processo de acidulação, as fontes de emissões abrangem a descarga, transferência e alimentação de rocha, resultando em emissões de partículas de poeira provenientes da rocha fosfática, arraste superficial ou infiltração destes materiais por águas pluviais. Além disso, o misturador/reator e o armazém de cura são fontes de emissões gasosas, liberando substâncias como fluoreto de silício, tetrafluoreto de silício (SiF_4), fluoreto de hidrogênio (HF) e partículas compostas por fluoreto e material particulado fosfatado. Durante o processo de granulação também há emissões de compostos de flúor e partículas de poeira. Os compostos de flúor são liberados principalmente no granulador e no secador, enquanto as partículas de poeira são

liberadas na alimentação de SSP ou TSP, granulador, secador, peneiras, resfriador, moinhos e correias de transferência. Quando é realizada a produção de fertilizante granulado NPK, há também a emissão de gases de amônia e fosfato de amônio advindos do granulador (SETH, 2020).

As águas residuais geradas na indústria de fertilizantes podem ser classificadas em quatro grupos principais (USEPA, 1993a):

- a) Efluentes de processo resultantes do contato com gases, líquidos ou sólidos;
- b) Efluentes específicos que podem ser separados para utilização em um processo ou para reciclagem a uma taxa controlada;
- c) Efluentes de serviços gerais, como limpeza ou pré-tratamento;
- d) Efluentes ocasionais, como fugas ou derrames.

Dentre os principais contaminantes presentes nessas águas residuais estão o fosfato, fluoreto, amoníaco, sulfato, cloreto, cromato e sólidos dissolvidos, cuja concentração pode aumentar por meio da evaporação de água ou reciclagem do efluente no processo produtivo. Além disso, todos os minérios de fosfato contêm vestígios de elementos radioativos e vários metais, que geram contaminantes como o arsênio, cádmio, urânio, vanádio e rádio (USEPA, 1974).

As águas residuais provenientes dos processos associados ao uso ou produção de fertilizantes nitrogenados apresentam altos níveis de compostos nitrogenados, como amônia, nitratos e nitrogênio orgânico, além de sólidos dissolvidos e suspensos, alcalinidade e dureza (USEPA, 1974).

Como fonte de geração de resíduos no processo produtivo de fertilizantes, estão os produtos fora de especificação, os derrames e as poeiras e lamas recolhidas nos sistemas de controle de emissões (SETH, 2020).

4.3 Medidas de controle e mitigação para as fontes potenciais de contaminação na produção de fertilizantes NPK

A redução da poluição pode ser mais eficaz quando implementamos técnicas de prevenção. Essas práticas não apenas aprimoram a eficiência da produção e aumentam os lucros, mas também minimizam os impactos ambientais. As estratégias de prevenção incluem a redução de

materiais, reengenharia de processos para reutilização de subprodutos, melhoria nas práticas de gestão e substituição de produtos químicos tóxicos por alternativas menos prejudiciais ao meio ambiente e seres humanos. Contudo, ao avaliar opções de prevenção, é crucial considerar as condições específicas de cada instalação.

A legislação desempenha um papel crucial na prevenção da poluição. A Política Nacional de Resíduos Sólidos, por exemplo, estabelece uma hierarquia de opções de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, priorizando a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

Na indústria de fertilizantes, práticas preventivas, reciclagem e reutilização são amplamente empregadas. A programação da produção para reduzir mudanças frequentes de produto, reduzindo o número de limpezas e risco de contaminação cruzada, a reutilização de águas de limpeza ou de reação no próprio processo produtivo e a segregação cuidadosa de resíduos sólidos são algumas das estratégias adotadas. A impermeabilização de áreas de armazenamento e manuseio de matérias-primas, insumos, produtos acabados e efluentes, coleta e tratamento de poeiras e gases, controle de qualidade e automação e reformulação dos produtos fora de especificação também contribuem para a prevenção da poluição (SETH, 2020).

No que diz respeito às águas residuais, a indústria de fertilizantes pode adotar práticas como manutenção preventiva, sistema de contenção das fugas inerentes ao processo, rotinas sistemáticas de limpeza dos derrames, entre outras. Além disso, medidas para minimizar a geração de águas residuais oriundas das limpezas, como métodos de lavagem a seco, máquinas de alta pressão e baixo volume de consumo de água e uso de vapor, podem ser implementadas (SETH, 2020).

Durante as operações de processamento, formulação e embalagem, os equipamentos e pavimentos podem ficar sujo devido a derrames, fugas, poeiras e tráfego de caminhões e maquinários, especialmente em áreas próximas a linhas secas. Para minimizar as fontes de contaminação, a limpeza desses locais pode ser realizada utilizando varredeiras, aspiradores, rodos, lavadoras automatizadas que recirculam continuamente a água de limpeza, panos e solvente de limpeza, como produto específico para aço inox, por exemplo. Essa prática evita a produção de águas residuais contaminadas, mas gera resíduo sólido (USEPA, 1996).

As fugas e derrames de líquidos podem ser coletados em caixas ou poços para reutilização, restando apenas vestígios de resíduo que podem ser limpos usando o mínimo de água possível. Além disso, podem ser empregados materiais absorventes, que devem ser armazenados e descartados adequadamente como resíduo. Para derrames de líquidos, bandejas, recipientes e diques de contenção também podem ser utilizados para favorecer a reutilização direta (USEPA, 1996).

Em relação ao escoamento de efluentes pluviais, é crucial manter as ruas e sistemas de contenção livres de quaisquer materiais derramados, a fim de evitar a contaminação da precipitação que cai sobre essas áreas. Os armazenamentos de matéria-prima, insumos e produtos acabados podem ser encaminhados para armazéns ou locais cobertos e em bom estado de conservação, prevenindo que a precipitação alcance áreas com fontes de contaminação. Se efluentes pluviais contaminados forem gerados, estes podem ser coletados em tanques ou lagoas impermeabilizadas para posterior reutilização no processo produtivo ou tratamento antes do lançamento em corpos hídricos.

4.4 Gerenciamento de Áreas Contaminadas

A evolução da política ambiental global pode ser resumida em quatro marcos principais: a Política Ambiental Americana de 1969, a Conferência de Estocolmo de 1972, o relatório "Nosso Futuro Comum" de 1987 e a ECO-92 no Rio de Janeiro em 1992. Esses eventos influenciaram o desenvolvimento de políticas e instrumentos ao longo do tempo, embora de forma não homogênea, em todos os países. Logo, nos anos 1970, predominou uma abordagem corretiva focada no controle da poluição, enquanto nos anos 1980 houve um enfoque maior em políticas preventivas, com a introdução da Avaliação de Impacto Ambiental (SILVA, 2007).

Outrossim, incidentes relevantes àquela época, como o impacto na rede de água e esgoto causado pela ação de compostos orgânicos de um antigo aterro de resíduos industriais em *Lekkerkerk*, na Holanda (SÁNCHEZ, 2001) ou a descoberta de resíduos perigosos aterrados em *Love Channel*, em Nova Iorque (USEPA, 2019), também incentivaram o estabelecimento de políticas destinadas ao desenvolvimento de legislações ambientais específicas no que tange a proteção ambiental.

Tais regulamentações visavam administrar e controlar as contaminações por meio da implementação de procedimentos de gerenciamento de áreas com potencial e real contaminação. Adicionalmente, isso propiciou o progresso no desenvolvimento de tecnologias de remediação mais avançadas e eficazes, além da constituição de fundos destinados a apoiar financeiramente a recuperação dos passivos ambientais.

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA é o órgão consultivo e deliberativo responsável por propor tais diretrizes para o controle e preservação da qualidade do meio ambiente (BRASIL, 1981). Na década de 80 este órgão estabeleceu resoluções para abordar a qualidade da água e do ar, no entanto, somente em 2009 que a Resolução CONAMA nº 420 foi promulgada, estabelecendo as diretrizes legais para o gerenciamento de áreas contaminadas em âmbito federal.

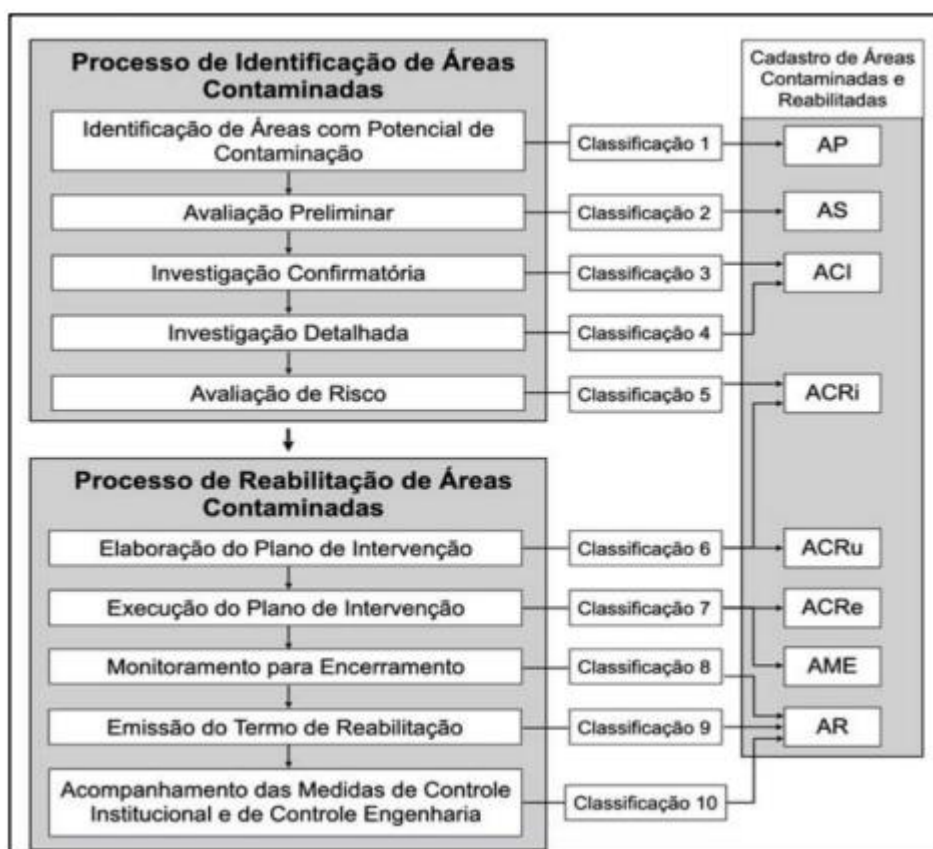
No mesmo período, mais precisamente no final da década de 70 e início da década de 80, o Estado de São Paulo registrou os primeiros casos de áreas contaminadas. Contudo, nesta época, o órgão ambiental estadual também não possuía procedimentos técnicos ou administrativos para lidar com essas ocorrências. Por isso, iniciou-se a busca por diretrizes técnicas adotadas em outros países (CETESB, 2021).

Essa busca propiciou, em 1993, o desenvolvimento do projeto de Recuperação do Solo e das Águas Subterrâneas em Áreas de Disposição de Resíduos Industriais, em parceria com o órgão do governo alemão, *Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit* (GTZ), para capacitar o corpo técnico do órgão ambiental do Estado de São Paulo, criar uma estrutura administrativa específica sobre este assunto e estabelecer as bases para criação das diretrizes legais para o tema gerenciamento de áreas contaminadas. Além disso, também, foram avaliados os procedimentos existentes em outros países como Estados Unidos da América, Alemanha, Holanda e Espanha. O resultado desse projeto foi a primeira edição do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, em 1999 (CETESB, 2021).

Após isso, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, continuou desenvolvendo diversos instrumentos para o gerenciamento de áreas contaminadas, sendo o mais atual a Decisão de Diretoria CETESB – DD 038/2017/C, de 7 de fevereiro de 2017, que dispõe sobre os procedimentos e diretrizes para a proteção da qualidade do solo e das águas subterrâneas e o gerenciamento de áreas contaminadas (CETESB, 2017).

Conforme definido na DD 38/2017/C, o procedimento de gerenciamento de áreas contaminadas é subdividido em duas fases: a) identificação, que compreende uma avaliação preliminar para identificar potenciais fontes de contaminação, seguida pela caracterização para confirmar e detalhar a contaminação, além de mensurar os riscos associados; b) reabilitação, na qual são delineadas e implementadas medidas de intervenção com o objetivo de possibilitar o uso declarado de maneira segura. A Figura 04 esquematiza as etapas do Gerenciamento de Áreas Contaminadas, conforme estabelecido pela CETESB.

Figura 04 - Etapas do Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC)



Fonte: CETESB (2021).

No contexto do gerenciamento de áreas contaminadas, tanto a ABNT NBR 15515-1 quanto a Decisão de Diretoria da CETESB 038/2017 estabelecem que a etapa de avaliação preliminar tem como objetivo identificar evidências, indícios, fatos e incertezas que possam apontar as áreas fonte e as fontes potenciais e primárias de contaminação. Ademais, a avaliação preliminar é a base para desenvolvimento do primeiro modelo conceitual da área, à partir do qual serão desenvolvidas as demais etapas, contribuindo para o êxito na execução do processo.

Essa avaliação é feita por meio do levantamento de informações sobre as características das atividades com potencial de contaminação realizadas no passado e presentes na área em análise, sendo fundamental para identificar indícios de contaminação (Áreas Suspeitas de Contaminação - AS) ou reconstituir o histórico de uso da área, bem como identificar as áreas fontes e fontes potenciais de contaminação que existem ou possam ter existido na área (ABNT, 2021; CETESB, 2017). Conforme a versão atualizada do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, capítulo 5.4, as incertezas relacionadas a ausência de informações detalhadas sobre o histórico de operação na área, também devem ser consideradas como uma suspeita de contaminação (CETESB, 2021).

A caracterização da área em estudo é conduzida através da coleta de dados do histórico de ocupação, estudos previamente realizados, atividades licenciadas, entre outros. Esse processo envolve também uma inspeção de reconhecimento da área, por meio de análise visual, entrevistas e revisão documental, relacionadas às atividades desenvolvidas no local (ABNT, 2021; CETESB, 2017).

De acordo com o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB (2021), capítulo 5.1, os objetivos específicos ou as atividades principais na fase de avaliação preliminar são:

- a)** Identificar as fontes de contaminação potenciais;
- b)** Identificar as Substâncias Químicas de Interesse (SQI);
- c)** Constatar situações que permitam suspeitar da liberação de SQI a partir das fontes de contaminação potenciais;
- d)** Constatar situações que permitam suspeitar da existência de contaminação nos compartimentos do meio ambiente;
- e)** Verificar a possibilidade de a área em avaliação ser atingida por contaminação gerada em fonte de contaminação externa, em fonte de contaminação difusa ou apresentar contaminação por fonte de contaminação natural;
- f)** Descrever as hipóteses de liberação das SQI a partir das fontes de contaminação potenciais e distribuição para os compartimentos do meio ambiente;
- g)** Identificar os bens a proteger;
- h)** Identificar os caminhos de exposição potenciais;
- i)** Identificar os responsáveis legais solidários;

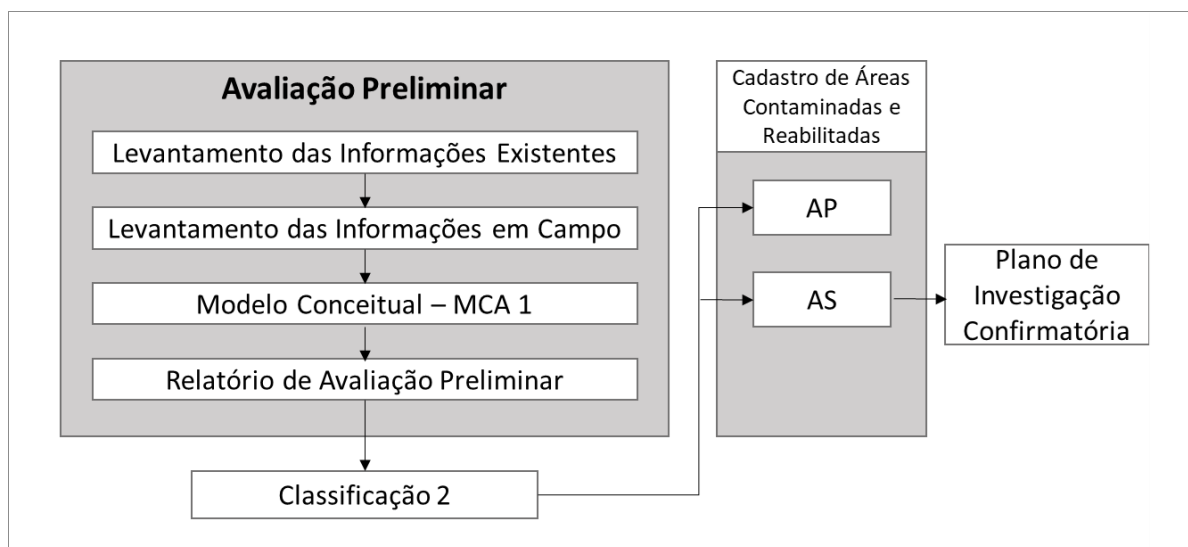
- j) Definir o modelo conceitual 1 (MCA1);
- k) Propor nova classificação da Área com Potencial de Contaminação (AP);
- l) Verificar a necessidade de realização da etapa de investigação confirmatória;
- m) Propor plano preliminar da etapa de investigação confirmatória.

Sumarizando, para identificar as fontes de contaminação em uma área, é crucial enfatizar a etapa de avaliação preliminar. Nessa fase um dos levantamentos realizados é a consulta de referências bibliográficas genéricas, que permitem a condução de pesquisas sobre as atividades industriais desenvolvidas em um determinado segmento e as potenciais fontes de contaminação associadas, complementando assim o modelo conceitual ao identificar as incertezas nas informações obtidas.

Concluída a fase de avaliação preliminar, as informações obtidas devem ser adequadas e suficientes para viabilizar a atualização da classificação da área, conforme ilustrado na Figura 05, e a elaboração do modelo conceitual inicial da área (MCA 1). Adicionalmente, essa análise deve fornecer subsídios para a realização da etapa de investigação confirmatória, especialmente quando a área em questão for classificada como Área Suspeita de Contaminação (CETESB,2021).

Após finalizar o processo de identificação de áreas contaminadas, os resultados alcançados devem ser satisfatórios para definir o plano de intervenção, visando a recuperação da área para os usos atuais e futuros pretendidos.

Figura 05 - Fluxograma da Etapa de Avaliação Preliminar



Fonte: Adaptado de CETESB (2021).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram selecionadas quatro empresas que atuam na fabricação e mistura de fertilizantes NPK e realizou-se uma avaliação preliminar, que incluiu o levantamento de informações sobre o histórico operacional de cada empresa. Essa avaliação foi direcionada e respaldada pela revisão bibliográfica previamente apresentada neste trabalho. O objetivo foi a identificação das fontes potenciais de contaminação nos processos produtivos de acidulação e granulação, bem como as substâncias químicas relevantes e os possíveis impactos ambientais causados por esse tipo de indústria.

As empresas foram selecionadas por fornecerem informações suficientes e necessárias para a realização deste trabalho, levando em consideração os dados disponíveis nos processos de licenciamento. Para abranger possíveis diferenças nos processos utilizados para fabricação e mistura de fertilizantes NPK, foram selecionadas duas empresas de cada setor. A seleção foi conduzida seguindo as etapas apresentadas em sequência.

Uma consulta foi realizada no texto do instrumento legal da Resolução CONSEMA nº 372/2018, que dispõe sobre os empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais que possuem potencial de causar degradação ambiental, onde foi identificado o CODRAM – Código de Ramo (de atividade) 2020,40 para as atividades de fabricação de fertilizantes e agroquímicos e 2020,41 para as atividades de mistura de fertilizantes.

Com o CODRAM, foi realizada uma consulta preliminar ao site de licenciamento ambiental do Estado de Rio Grande do Sul (FEPAM, 2023), onde foram localizados processos referentes às empresas indicadas na tabela 01.

Tabela 01 – Processos consultados no site de licenciamento ambiental da FEPAM

CODRAM	Empresa	Município
2020,40 – Fabricação de fertilizantes e agroquímicos	Empresa Alfa	Rio Grande
2020,40 – Fabricação de fertilizantes e agroquímicos	Empresa Beta	Rio Grande
2020,41 – Mistura de fertilizantes	Empresa Gama	Canoas
2020,41 – Mistura de fertilizantes	Empresa Delta	Porto Alegre

Fonte: Elaborado pela autora.

Utilizando o Sistema Online de Licenciamento Ambiental (SOL) da FEPAM, foi possível acessar os documentos dos processos de licenciamento, atendimento às condicionantes e respostas a ofícios. Essa consulta foi realizada utilizando o CNPJ das empresas obtido na busca anterior, com o número do CODRAM.

Considerando as informações genéricas de operação de uma indústria de fertilizantes, identificado por meio de pesquisa bibliográfica e análise de documentos licenciatórios das empresas selecionadas, foi realizada uma avaliação dos processos utilizados na produção de fertilizantes fosfatados e NPK de cada uma das indústrias mencionadas na tabela 01. O objetivo foi identificar as áreas fontes e fontes potenciais de contaminação, bem como mecanismos de liberação de contaminantes para os receptores solo, água subterrânea e superficial. Também foi identificado quais são os principais contaminantes relacionados a esse tipo de indústria. Essa avaliação teve por objetivo desenvolver um guia orientador para estudos futuros que busquem identificar passivos em indústrias similares. Como parte desse processo, foi elaborada uma tabela que pode ser utilizada como modelo conceitual inicial (MCA 1), englobando as principais áreas.

Com base no modelo conceitual inicial genérico (MCA 1) desenvolvido a partir das informações coletadas, conduziu-se uma revisão bibliográfica abrangente de estudos, artigos científicos e manuais, buscando identificar medidas preventivas destinadas a eliminar, mitigar ou controlar as potenciais fontes primárias de contaminação destacadas no modelo.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Processos de produção de fertilizantes NPK

Conforme apresentado na tabela 01, as empresas Alfa e Beta estão envolvidas na fabricação de fertilizantes NPK e, ao consultar os documentos de licenciamento, foram identificados os seguintes processos produtivos:

Tabela 02 – Processos produtivos licenciados

Empresa Alfa	Empresa Beta
Recepção e armazenagem de matérias-primas sólidas e líquidas; Produção de Superfosfato Simples e Triplo; Produção de formulações de NPK granuladas; Ensaque de fertilizantes; Produção de fertilizantes líquidos e domissanitários; Expedição de produtos ensacados e a granel; Produção de Suplementos para Ruminantes; Extração de Algas e extração de substâncias húmicas a partir do lodo de ETA;	Acidulação (superfosfatos simples); Granulação; Mistura (NPK); Pier para carga e descarga de navios; Comercialização de ácido sulfúrico pelo empreendimento, a ser expedido via modal rodoviário; Armazéns provisórios, destinados ao armazenamento de matérias-primas, com o objetivo de atender à necessidade de recebimento anual de um volume maior, sendo que estes armazéns poderão ser montados somente em áreas já utilizadas anteriormente.

Fonte: Licença de Operação consultada no Sistema Online de Licenciamento Ambiental (SOL) da FEPAM, 2023.

Os registros disponíveis no Sistema Online de Licenciamento Ambiental não mencionam explicitamente o meio de recebimento das matérias-primas na Empresa Alfa. Contudo, ao avaliar as condicionantes da licença de operação e as imagens das áreas de descarregamento de rocha, ácidos e amônia, disponibilizadas em relatórios (SALVATERRA, 2021), juntamente com imagens aéreas da empresa consultadas no programa Google Earth, foi possível deduzir que todas as matérias-primas utilizadas na empresa são recebidas por caminhões e descarregadas nos armazéns e tanques apropriados.

Já na Empresa Beta, a rocha fosfática, ácido sulfúrico e fertilizantes potássicos e nitrogenados são recebidos no pier e os demais insumos são recebidos em modal rodoviário. Os navios atracam e descarregam todos os materiais necessários para o processamento nas unidades produtivas. A partir desse ponto, o material sólido é transportado até o armazém, por sistemas de esteiras transportadoras enclausuradas, enquanto o material líquido é bombeado até

o tanque de armazenamento. As tubulações para transporte de ácido sulfúrico têm 450 m de comprimento e são majoritariamente aéreas, saindo do píer até os tanques de armazenamento. Os demais insumos são descarregados diretamente nos devidos armazéns (FEPAM, 2021).

Os documentos analisados indicam que os armazéns são enclausurados e com portões e as esteiras transportadoras também são enclausuradas, ambos com o objetivo de reduzir a emissão de particulado durante o descarregamento. Além disso, os tanques são equipados com bacias de contenção. No entanto, essas operações ainda apresentam potencial para emissões de particulado, que pode se depositar no solo, no piso, nas estruturas e nos sistemas de drenagem pluvial, os quais, por sua vez, desaguam no corpo hídrico. Também podem ocorrer vazamentos e/ou derramamentos das matérias-primas em geral, afetando os mesmos receptores.

As áreas de armazenamento das matérias-primas, bem como o seu transporte, transferência e descarregamento também podem ser consideradas áreas fontes com fontes potenciais de contaminação, uma vez que o mau acondicionamento, a falta e/ou falha na impermeabilização e falhas na integridade física das estruturas e meios de transporte podem facilitar a liberação de contaminantes para o solo e, conseqüentemente, para a água subterrânea.

Conforme os documentos licenciatórios elaborados pelas empresas Alfa e Beta e disponibilizados no Sistema Online de Licenciamento Ambiental (SOL), as matérias-primas e insumos utilizados nos processos incluem:

Tabela 03 – Matérias-primas utilizadas nas Empresas Alfa e Beta

Empresa Alfa	Empresa Beta
Rocha fosfática;	Rocha fosfática;
Ácido sulfúrico e ácido fosfórico;	Ácido sulfúrico;
Superfosfatos simples e triplo;	Cloreto de potássio granulado;
Amônia;	Fertilizante MAP granulado;
Cal;	Superfosfatos simples e triplo granulado;
Gesso;	Fertilizantes nitrogenados;
Cloreto de potássio gr;	Fertilizante DAP granulado;
Calcário;	Fertilizante SAM granulado;
Fertilizante MAP granulado;	Revestimento de micronutrientes;
Hidrobóracita;	Argila;
Óxido de magnésio;	Cal hidratada em pó;
Óxido de zinco;	Óleo petroquímico BTE;

Fonte: Documentos licenciatórios das empresas Alfa e Beta, consultados no Sistema Online de Licenciamento Ambiental (SOL) da FEPAM, 2023.

Tabela 03 – Matérias-primas utilizadas nas Empresas Alfa e Beta (continuação)

Empresa Alfa	Empresa Beta
Talco; Ureia; Humato de sódio; Óleo Diesel; Aditivo de Recobrimento – BPF; GLP.	Biomassa; Óleo de recobrimento; Calcário; Soda cáustica; Ácido clorídrico; Óleo diesel; GLP.

Fonte: Documentos licenciatórios das empresas Alfa e Beta, consultados no Sistema Online de Licenciamento Ambiental (SOL) da FEPAM, 2023.

6.1.1 Produção de Superfosfatos

Nas Empresas Alfa e Beta a produção do Superfosfatos começa com o carregamento da rocha fosfática por uma pá-carregadeira para o elevador de canecas. A rocha é então transportada até uma moega, onde é armazenada antes de ser alimentada nos moinhos de rolos, que reduzem a sua granulometria em partículas, passando por mesh 325, equivalente a 0,044mm. A rocha moída é transportada pneumaticamente através de tubulações para uma moega onde é armazenada para posterior transferência ao sistema de reação, utilizando um transportador/dosador (SALVATERRA, 2021; FEPAM, 2021).

Todas essas etapas apresentam potencial para emissão de material particulado além de vazamentos e derramamentos da rocha fosfática, que podem se depositar no piso, solo, estruturas e drenagem pluvial. Portanto, tais operações podem ser consideradas áreas fontes com fontes potenciais de contaminação.

Na etapa de reação, são observadas algumas distinções entre os processos das Empresas Alfa e Beta. Enquanto a Empresa Alfa possui apenas um único estágio de reação, a Empresa Beta emprega dois estágios e dois sistemas de reação paralelos e idênticos. Além disso, a Empresa Alfa produz superfosfatos simples e triplo, diferenciados pela concentração de P_2O_5 , conforme apresentado na revisão bibliográfica, além do uso de ácido sulfúrico no primeiro e ácido fosfórico no segundo. Por outro lado, a Empresa Beta produz apenas o superfosfatos simples.

Posto isso, no processo da Empresa Alfa, a rocha e o ácido sulfúrico ou fosfórico diluídos reagem conforme são dosados. Já na Empresa Beta, no primeiro estágio, ou pré-reator, a rocha fosfática é dosada controladamente junto com um efluente ácido oriundo do primeiro estágio do sistema de lavagem de gases, visando fixar o flúor pela reação do ácido fluossilícico com o cálcio presente na rocha. A lama da reação gerada no pré-reator é transferida por gravidade para o reator principal, onde ocorre a reação com ácido sulfúrico diluído. A empresa Beta utiliza efluente do quarto estágio do sistema de lavagem para diluição do ácido (SALVATERRA, 2021; FEPAM, 2021), enquanto a Empresa Alfa não especifica como é realizada a diluição, podendo ser com o efluente do sistema de lavagem de gases ou efluente gerado em outro processo ou até mesmo água potável.

A lama produzida nos estágios de reação de ambas as empresas é transferida por gravidade através de uma esteira de reação para dar continuidade à reação. No entanto, nenhum dos documentos avaliados fornece informações sobre o tempo de reação. De acordo com a revisão bibliográfica apresentada neste trabalho, esta reação dura aproximadamente uma hora na esteira de reação.

Nas duas empresas, o sistema de reação é completamente fechado e os gases compostos por particulados e fluoretos gerados durante as interações entre a rocha fosfática e o ácido são exauridos para o sistema de lavagem de gases. Na Empresa Alfa, são utilizados lavadores do tipo *Jet Scrubber*, enquanto na Empresa Beta o sistema consiste em duas linhas paralelas, uma para cada sistema de reação, com cada linha composta por quatro lavadores do tipo Jet Venturi, dispostos em série. Durante o processo de lavagem, ocorre a formação de sílica, principalmente no tanque de selagem do primeiro estágio. Para minimizar a concentração de sílica, cada sistema de lavagem possui um filtro prensa onde as tortas de sílica são retidas e enviadas para o armazém de estocagem, juntamente com o superfosfato produzido. O líquido, isento de sólidos, retorna para o tanque de selagem, mantendo assim um circuito fechado. Após o tratamento dos gases, estes são liberados na atmosfera através da chaminé (SALVATERRA, 2021; FEPAM, 2021).

As operações de reação e lavagem dos gases apresentam potencial para emitir material particulado durante a dosagem de matéria-prima e em eventuais problemas no sistema de tratamento de gases, o que poderia resultar na emissão de contaminantes para a atmosfera. Além disso, há riscos de vazamento de ácido tanto no bombeamento quanto na alimentação do reator, derramamento da lama por descontrole na reação, vazamento de efluentes ácidos do sistema de

lavagem de gases, bem como o inadequado acondicionamento e transferência da lama com sílica proveniente do filtro prensa.

A área produtiva de superfosfatos como um todo pode ser descrita como área fonte com fonte potencial de contaminação, considerando, especialmente, a ausência ou falha na impermeabilização do piso. Essas fontes podem resultar na deposição ou infiltração de contaminantes no solo, além de deposição no piso, em estruturas e nos sistemas de drenagem pluvial.

Conforme a reação vai acontecendo o produto gerado vai solidificando, e por isso passa por um desintegrador que fatia o produto. Em seguida, este é descarregado na correia e transportadora até o armazém de cura, onde permanece estocada para prolongar a reação entre o ácido e a rocha a fim de atingir a concentração de P_2O_5 especificada para o superfosfatos, já que o tempo de reação na esteira não é suficiente para atingir tais teores (SALVATERRA, 2021; FEPAM, 2021). O tempo de residência no armazém de cura também não ficou especificado nos documentos analisados, mas a revisão bibliográfica apresentada neste trabalho indica a variação de quatro a seis semanas.

A transferência e armazenamento do produto acabado ao armazém de cura pode ser caracterizada como uma fonte de emissão de material particulado e gases de fluoretos que por ventura ainda possam ser gerados conforme a reação dá continuidade, além de vazamento ou derramamento do produto acabado, mesmo que ambos sejam enclausurados. No que tange o armazém de cura ainda há a possibilidade de transporte de contaminantes para o solo e consequentemente para a água subterrânea, caso o piso não seja impermeabilizado ou apresente algum desgaste na impermeabilização.

6.1.2 Produção de Fertilizante Granulado

Para a produção do fertilizante granulado, as Empresas Alfa e Beta apresentam diferenças relevantes. A Empresa Alfa utiliza como matérias-primas sólidas o cloreto de potássio, DAP, MAP, uréia, sulfato de amônio e superfosfatos simples e triplo. Por sua vez, a Empresa Beta utiliza apenas MAP, cal, superfosfatos simples e cloreto de potássio (SALVATERRA, 2021; FEPAM, 2021).

Na Empresa Alfa, a matéria-prima passa por um processo de moagem antes de ser direcionada ao granulador rotativo, um procedimento que não ocorre na Empresa Beta. Porém, em ambas empresas, a alimentação do granulador rotativo é precedida pela transferência da matéria-prima para as moegas, que são responsáveis por alimentar as correias equipadas com balanças dosadoras automáticas antes de ir para o granulador. Essa transferência é realizada utilizando pá-carregadeira e elevador de canecas (SALVATERRA, 2021; FEPAM, 2021). Todas essas operações podem gerar a emissão de matéria particulado e sua subsequente deposição em pisos, solos, estruturas e drenagens pluviais, bem como o vazamento ou derramamento das matérias-primas em locais que favorecem a contaminação da área.

O granulador rotativo recebe, além das matérias-primas sólidas, as correntes de água, vapor e reciclo com produto fora de especificação granulométrica. Na Empresa Alfa, também é alimentado com amônia e ácido sulfúrico. Dentro deste tambor rotativo ocorre a mistura e aglomeração das partículas, onde as próprias matérias-primas líquidas supracitadas são utilizadas como solvente. Esse processo resulta na formação do fertilizante granulado (SALVATERRA, 2021; FEPAM, 2021).

Tal operação gera gases e, por isso, é equipada com um sistema de exaustão. No entanto, ainda pode ser considerada uma fonte potencial de contaminação, devido à possibilidade de emissão de material particulado e gases contendo compostos de nitrogênio e flúor. Além disso, há o risco de vazamentos, e subsequente alcance ao solo e drenagem pluvial, dos sistemas de bombeamento e armazenamento das matérias-primas líquidas.

O fertilizante granulado resultante é submetido a um processo de remoção do excesso de umidade por meio de um tambor rotativo secador. Em seguida, o material passa por um conjunto de peneiras vibratórias, onde partículas menores que 2,5mm são separadas e enviadas à corrente de reciclo, enquanto o material grosso ($> 3,0\text{mm}$) é direcionado aos moinhos e, posteriormente, para a corrente de reciclo. O produto com granulometria entre 2,5mm e 3,0mm segue para o tambor resfriador (SALVATERRA, 2021; FEPAM, 2021).

Todas essas etapas também podem gerar emissão de material particulado e gases contendo compostos de nitrogênio e flúor, o que deve ser considerado como fontes potenciais de contaminação, mesmo com a adoção de sistema de exaustão e tratamento dos gases. Além disso, embora as Empresas Alfa e Beta utilizem cavaco como combustível para as fornalhas, outras indústrias de fertilizantes podem adotar o uso de óleo BPF ou gás natural, o que também deve ser considerado na avaliação de potenciais impactos ambientais.

Após o processo de resfriamento, o fertilizante segue para as peneiras, onde as partículas finas ($< 2,5\text{mm}$) são enviadas para a corrente de reciclo. Em seguida, o produto é encaminhado ao tambor rotativo recobridor, onde recebe uma fina película protetora de óleo vegetal para evitar o empedramento. Por meio de correias transportadoras, o fertilizante é levado ao armazém de produto acabado (SALVATERRA, 2021; FEPAM, 2021).

Assim como nas etapas anteriores, o processo de resfriamento pode gerar emissões de particulados e gases. Além disso, o bombeamento e armazenamento do óleo vegetal podem ser considerados potenciais fontes de contaminação, podendo atingir pisos e drenagens pluviais, bem como infiltrar no solo se a impermeabilização da área não estiver adequada.

Em ambas as empresas, todas as etapas do processo possuem pontos de captação de particulados, os quais são tratados em filtros manga e recuperados para a corrente de reciclo. Além disso, um sistema de lavagem de gases é empregado para remover os contaminantes presentes nos gases gerados (SALVATERRA, 2021; FEPAM, 2021). Dessa forma, a ineficiência ou eventuais problemas nesses sistemas de controle de emissões atmosféricas podem resultar na emissão de contaminantes e sua subsequente deposição no solo, piso, estruturas e drenagens pluviais.

As empresas também adotam um circuito fechado para o consumo da água, direcionando-a para a estação de tratamento de efluentes (ETEL) para remoção de impurezas, com retorno da água limpa ao processo. Nesse sentido, o vazamento ou derramamento desta água antes de passar pelo devido tratamento também representa uma fonte potencial de contaminação, assim como o armazenamento e transferência inadequada da torta gerada na ETEL até o armazém, para posterior reprocessamento na unidade de acidulação. Além disso, toda a área de produção de fertilizantes granulados pode ser considerada como uma área fonte com potencial fonte de contaminação, mediante a constatação da ausência ou falha na impermeabilização do piso.

6.2 Processos de mistura de fertilizantes NPK

Conforme apresentado na tabela 01, as empresas Gama e Delta estão envolvidas na mistura de fertilizantes NPK. Atualmente a Empresa Gama não possui nenhum processo produtivo em operação. Contudo, anteriormente, sua atuação estava centrada na fabricação de aditivos para motores a diesel e mistura de fertilizantes. Por outro lado, a Empresa Delta atua exclusivamente na mistura de fertilizantes.

As matérias-primas utilizadas nas empresas são:

Tabela 04 – Matérias-primas utilizadas nas Empresas Gama e Delta

Empresa Gama	Empresa Delta
<p>Aditivo de recobrimento Procote, contendo ácido bórico, sal e óxido de zinco, carbonato de manganês, etanodiol, hidróxido de potássio e 2-metil-2H-isotiazole-3-ona;</p> <p>Fertilizante de formulação 02-19-02, composto por uma mistura de superfosfatos, cloreto de potássio, dihidrogénoortofosfato de amônio, triplo superfosfatos e sulfato de amônio;</p> <p>Fertilizante de formulação 03-21-21, consistindo em uma mistura de superfosfatos, cloreto de potássio, dihidrogénoortofosfato de amônio, ácido bórico e sal de zinco;</p> <p>Triplo superfosfatos (TSP) 100%;</p> <p>Dihidrogenoortofosfato de Amônio (MAP) 100%;</p> <p>Nitrato de potássio;</p> <p>Cloreto de potássio gr;</p> <p>Sulfato de Amônio;</p> <p>Calcário;</p> <p>Óleo mineral Dustrol, utilizado para reduzir o teor de pó e evitar a oxidação no fertilizante;</p> <p>Óleo Diesel, empregado no abastecimento de pá carregadeira;</p> <p>Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), usado no abastecimento de empilhadeiras e acondicionados em tanques.</p>	<p>Nitrato de potássio 11-44-00 e 02-20-00;</p> <p>Fosfato de diamônio (DAP);</p> <p>Cloreto de potássio gr;</p> <p>Superfosfatos triplo;</p> <p>Nitrato;</p> <p>Ureia;</p> <p>Sulfato de amônia;</p> <p>Sulfato de magnésio;</p> <p>Sulfato de potássio;</p> <p>Nitrato de cálcio;</p> <p>Nitrato de potássio;</p> <p>Salitre;</p> <p>Inibidor de ureia (AGROTAIN);</p> <p>A empresa não possui nenhum tipo de armazenamento de combustíveis, visto que o abastecimento é realizado em outra sede da empresa.</p>

Fonte: Adaptado de: SALVATERRA, 2020; G&P, 2021

Na Empresa Gama, parte das matérias-primas eram recebidas por transporte hidroviário e a outra parte por transporte rodoviário, porém os documentos avaliados não especificaram exatamente essa divisão. Já na Empresa Delta, toda a matéria-prima é recebida exclusivamente por transporte rodoviário. Em ambas as empresas, os materiais entregues por caminhões são descarregados em armazéns fechados utilizando pá carregadeiras. No entanto, na Empresa Gama, as matérias-primas descarregadas dos navios eram transferidas por correias transportadoras (CPEA, 2022; G&P, 2021). Essas atividades de descarregamento e

transferência podem resultar em emissões de particulados e sua subsequente deposição nas áreas circundantes. Além disso, o armazenamento das matérias-primas nos boxes podem favorecer a infiltração de contaminantes no solo, atingindo a água subterrânea, caso o piso não seja impermeabilizado ou apresente danos estruturais na impermeabilização.

O processo de mistura nas duas empresas seguem um padrão semelhante. Após receber a ordem de produção para um fertilizante específico, a matéria-prima é transferida para a moega que alimenta o elevador de canecas, utilizando pá-carregadeiras articuladas. Em seguida, o material passa por uma peneira para eliminar os grumos e torrões, que são direcionados para o box de rejeito. Este rejeito é enviado para empresas com processo de granulação de fertilizantes, onde é transformada novamente em produto com especificações granulométricas aceitáveis pelo Ministério da Agricultura (CPEA, 2022; G&P, 2021). Similarmente às operações de movimentação de matéria-prima nos armazéns das indústrias produtivas de fertilizantes, no processo de mistura também podem ocorrer emissões de matéria particulado, vazamentos ou derramamento de matéria-prima.

As partículas dentro de especificação são dosadas conforme a fórmula ordenada, seguindo para o misturador rotativo, onde é acrescentado óleo mineral para homogeneização do produto e evitar o seu empedramento. Do misturador, o produto é transportado por um elevador de canecas até uma peneira rotativa, responsável por remover possíveis incrustações provenientes do equipamento. Após a etapa de peneiramento, o produto é direcionado para as ensacadeiras (CPEA, 2022; G&P, 2021).

Os documentos avaliados não especificam a capacidade das embalagens utilizadas para a empresa Delta, contudo a Empresa Gama utilizava embalagens de 50kg e big bags. Após o ensaque, as embalagens são direcionadas para balança e encaminhadas por esteiras até o caminhão, ou eram carregados diretamente nos caminhões quando se tratava de big bags (CPEA, 2022; G&P, 2021).

Nestas etapas, além da emissão de material particulado, vazamento e derramamentos do produto acabado, deve-se observar o sistema de armazenamento e bombeamento do óleo mineral, devido ao risco de vazamento e problemas estruturais que possibilitem a infiltração no solo. Além do mais, caso o piso da área de mistura não seja impermeabilizado ou apresente falhas, esta área também pode ser considerada como área fonte de contaminação.

6.3 Identificação das atividades com potencial de contaminação em cada etapa do processo produtivos das indústrias avaliadas e as respectivas substâncias químicas de interesse

Com base na descrição das etapas produtivas apresentadas no item anterior e conhecimentos adquiridos em experiências profissionais, foram identificadas as áreas fontes e as fontes potenciais de contaminação em cada uma delas, utilizando as informações disponíveis. Destaca-se que não foi possível realizar uma inspeção de reconhecimento de campo para desenvolvimento deste trabalho.

Além das áreas de produção e mistura mencionadas anteriormente, para garantir a produção do fertilizantes, existem atividades auxiliares que incluem, por exemplo, o abastecimento e limpeza das máquinas, manutenção, armazenamento de resíduos, subestações elétricas e outras instalações.

Sendo assim, observando as atividades relacionadas ao uso e manuseio de combustíveis, graxas, lubrificantes, fluidos de freio e desengraxantes, os contaminantes considerados incluem compostos orgânicos, com ênfase em derivados de petróleo, e metais pesados. Especificamente para o óleo diesel e fluidos dielétricos, as substâncias de interesse abrangem os hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) alifáticos e aromáticos, em faixas definidas por número de carbono, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH), benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX). Além disso, é importante avaliar se as instalações possuem subestações de energia elétrica anteriores à década de 1970, pois, nesse caso, deve-se considerar a suspeita de contaminação pontual por bifenilas policloradas (PCB). Por fim, atividades de apoio, como manutenção, oficina e almoxarifado, podem gerar potencial para a presença de compostos orgânicos voláteis (VOC) e semivoláteis (SVOC) provenientes de óleos, solventes e tintas comuns.

No que diz respeito ao recebimento, transporte e armazenamento de compostos nitrogenados, as substâncias de interesse compreendem nitrogênio amoniacal e as substâncias resultantes de sua oxidação, nitrito e nitrato.

Quanto à rocha fosfática e ao produto acabado, as substâncias químicas de interesse englobam carbono orgânico total e fracionado, metais totais e dissolvidos, alcalinidade, série

nitrogenada (Nitrogênio *Kjeldahl* Total - NKT), nitrato (N), nitrito (N), nitrogênio amoniacal, fluoreto, ortofosfato, cloreto, fósforo total e dissolvido, cálcio, sulfato e sulfeto.

As matérias-primas e insumos, juntamente com as reações envolvidas nos processos de fabricação de fertilizantes, possibilitaram identificar as principais substâncias químicas de interesse (SQI), em cada etapa do processo e área fonte e fonte potencial de contaminação. Vale ressaltar que as empresas analisadas já passaram por um processo de investigação confirmatória e foram classificadas com áreas contaminadas sob investigação, cujas SQIs analisadas estão detalhados nas tabelas 05 e 06.

As substâncias químicas de interesse analisadas nos estudos de investigação de área contaminada das empresas Alfa e Beta (tabela 05) confirmaram as SQIs apontadas neste trabalho, identificadas mediante a análise dos processos industriais e matérias-primas envolvidas na unidade de acidulação e granulação de fertilizantes NPK. Contudo, a presença de teor de flúor na rocha fosfática indica o fluoreto como uma SQI, apesar de não ter sido monitorada por essas empresas.

Tabela 05 – SQIs das empresas de fabricação de fertilizantes NPK

Empresa Alfa	Empresa Beta
Alcalinidade;	Nitrogênio amoniacal;
Metais totais;	Nitrito;
Fósforo total;	Nitrato;
Nitrogênio amoniacal;	Hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH);
Sulfato;	Compostos orgânicos voláteis e semivoláteis (VOC e SVOC), incluindo hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH) e benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX);
Cadeia de carbono;	Metais totais.
Hidrocarbonetos resolvidos do petróleo (HRP); Mistura complexa não-Resolvida (MCNR); Hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH).	

Fonte: Documentos licenciatórios das empresas Alfa e Beta, consultados no Sistema Online de Licenciamento Ambiental (SOL) da FEPAM, 2023.

Tabela 06 – SQIs das empresas de mistura de fertilizantes NPK

Empresa Gama	Empresa Delta
Metals totais e dissolvidos; Alcalinidade; Carbono orgânico total e fracionado; Metano; Série nitrogenada (nitrogênio <i>Kjeldahl</i> total - NKT), nitrato (N), nitrito (N), nitrogênio amoniacal; Fluoreto; Ortofosfato; Cloreto; Fósforo total e dissolvido; Bifenilas policloradas (PCBs); Sulfato; Hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) e <i>fingerprint</i> ; Compostos orgânicos voláteis e semivoláteis (VOC e SVOC), incluindo hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH) e benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX).	Metals totais; Compostos orgânicos voláteis e semivoláteis (VOC e SVOC), incluindo hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH) e benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX); Hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) e <i>fingerprint</i> ; Óleos e graxas (mineral); Surfactantes; Clorados (benzeno, etanos, etenos, fenóis, organoclorados pesticidas e bifenilos); Nitrato e nitrito; Sulfeto e sulfato; Silício; Nitrogênio amoniacal; Fósforo; Potássio; Cálcio; Fluoretos.

Fonte: Documentos licenciatórios das empresas Alfa e Beta, consultados no Sistema Online de Licenciamento Ambiental (SOL) da FEPAM, 2023.

6.4 Desenvolvimento do Modelo Conceitual Inicial genérico (MCA)

O resultado esperado da consolidação de todas as informações obtidas na avaliação preliminar é a criação do modelo conceitual inicial (MCA 1). Esse modelo representa as hipóteses de liberação de materiais e substâncias das fontes de contaminação existentes e potenciais identificadas, bem como os caminhos de exposição que essas substâncias podem percorrer até atingirem os bens a serem protegidos. Este modelo servirá como guia para o desenvolvimento da próxima fase no gerenciamento de áreas contaminadas, a investigação confirmatória (CETESB, 2021).

Havendo a suspeita de uma possível contaminação, é crucial considerar os bens a serem protegidos. Esses bens incluem a saúde dos trabalhadores atuais e futuros, a qualidade da água

subterrânea e superficial, a fauna e flora associadas aos corpos hídricos e as comunidades vizinhas.

A tabela 07 exibe um modelo conceitual inicial genérico que foi desenvolvido considerando a consolidação de todas as informações avaliadas nos itens anteriores. Para uma compreensão mais aprofundada deste modelo, é crucial examinar minuciosamente as particularidades de cada unidade de produção, assim como o histórico de ocupação do solo, registros de incidentes ocorridos nas instalações e incertezas relacionadas a ausência de informações detalhadas sobre o histórico de operação na área.

De maneira geral, para as áreas fontes identificadas na tabela 07, considerou-se os contaminantes são transportados da fonte potencial de contaminação para o solo, seguindo para a água subterrânea e podendo chegar às zonas de descargas, de onde a água emerge alimentando rios circunvizinhos.

Inicialmente, foram considerados receptores das substâncias químicas de interesse o solo, água subterrânea, águas superficiais e trabalhadores on-site, ressaltando que esses receptores deverão ser reavaliados à medida que as etapas de investigação avancem, devido à possibilidade de os contaminantes se deslocarem além da área do empreendimento até áreas vizinhas.

Para confirmar a existência de contaminação, sugere-se a elaboração de um plano de amostragem que inclua:

- a) A coleta de amostras compostas ou multi-incremento de solo expostos considerando-se o volume superficial de solo até 10 cm de profundidade, com definição de unidades de decisão com área inferior a 500 m²;
- b) A coleta de amostras de solo superficial (10 cm), com unidades de decisão relacionadas a cada situação específica, em áreas com manchas de óleo, vegetação estressada e divisa do empreendimento;
- c) A coleta de amostras compostas ou multi-incremento de solo expostos nas áreas com fontes potenciais de contaminação conhecidas ou que apresentem incertezas e não impermeabilizadas, considerando o volume superficial de solo até 10 cm de profundidade, com definição de unidades de decisão com área inferior a 500 m²;
- d) Sondagens pontuais em número suficiente para ser representativa de cada fonte potencial, coleta de amostras de solo logo abaixo do piso e instalação de poços de monitoramento com seção filtrante de 1,0 m posicionada na superfície do aquífero

livre em áreas com fontes potenciais de contaminação conhecidas ou que apresentem incertezas e impermeabilizadas;

e) Coleta de amostra de água subterrânea.

A quantidade de amostras deve ser representativa, garantindo a capacidade de extrapolar os resultados das amostras para toda a área de interesse, de maneira confiável. Uma vez que o mecanismo de liberação mais importante está associado a deposição de materiais ou de particulados em áreas com e sem impermeabilização, a amostragem do solo na investigação confirmatória deve ser focada na avaliação de áreas com solo exposto que possam receber a deposição destas substâncias químicas. Não consideramos prioritário, nestas primeiras etapas de investigação, a coleta de amostras de solo em áreas impermeabilizadas ou em profundidades maiores.

Considerando que substâncias em questão são solúveis e móveis, recomenda-se priorizar coleta de amostras de água subterrânea durante a investigação confirmatória. Portanto, a instalação de poços para o monitoramento da água subterrânea ou o uso de ferramentas de coleta como o *grab-sampler* são essenciais e devem ser incluídas no plano de investigação confirmatória, levando em consideração as áreas de estudo, as fontes potenciais de contaminação, o background e as áreas a jusante, visando determinar a localização dos pontos de amostragem, com base em hipóteses sobre a formação de plumas de contaminação em fase dissolvida. Contudo, antes da instalação da malha de monitoramento, é crucial um amplo conhecimento das características geológicas e hidrogeológicas da área, bem como das características e distribuição dos contaminantes.

Para as áreas fontes próximas a corpos hídricos ou onde o mecanismo de liberação seja o lançamento de efluentes pluviais, é importante considerar a coleta de amostras em pontos a montante e a jusantes da fonte potencial de contaminação, bem como ao longo de tubulações que possam ter falhas. Quando o ponto de falha é conhecido pode-se coletar uma amostra direcionada; no entanto, para pontos de falha desconhecidos, é necessário considerar amostras representativas de todo o volume da pluma dissolvida, potencialmente formada.

As substâncias químicas de interesse indicadas para compor o plano de amostragem dependerá das substâncias manuseadas nas áreas, como indicado na tabela 07, compreendendo, principalmente:

- a)** Inorgânicos não metálicos: nitrogênio amoniacal, nitrogênio *Kjeldahl* total, nitrito, nitrato, fluoretos, fósforo, fosfato, cloreto, potássio, cálcio, sulfato e sulfeto;
- b)** Metais e semimetais: todos listados na Resolução CONAMA nº 420/2009;
- c)** Hidrocarbonetos totais de petróleo aromáticos e alifáticos (TPH), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH), bifenilas policloradas (PBC), compostos orgânicos voláteis e semivoláteis (VOC e SVOC) nas áreas onde estas SQI's são manuseadas.

Tabela 07 – Modelo Conceitual Inicial genérico (MCA 1)

Processo	Descrição da área fonte	1º estágio		2º estágio		SQI envolvida	Medidas de mitigação propostas
		Fontes potenciais primárias	Mecanismos de liberação	Fontes secundárias	Mecanismos secundários de liberação		
Recebimento, descarregamento e armazenamento de matéria-prima, insumos e fertilizante	Área do píer	Vazamentos e derramamentos de matérias-primas, insumos e fertilizantes	Lixiviação de contaminantes e infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	Inorgânicos não metálicos, metais e semimetais	Bacias de contenção nas tancagens, piso impermeabilizado, manutenção preventiva nos sistemas de bombeamento, instalação de medidores de vazão ou pressão para identificação de vazamentos nas tubulações
		Emissões atmosféricas de material particulado	Deposição no piso, solo e estruturas, lixiviando os contaminantes e infiltrando pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção		Enclausuramento das correias transportadoras, sistemas de exaustão e despoeiramento, métodos de limpeza a seco e recolhimento nos pisos e estruturas, reuso do efluente pluvial no processo
			Deposição em drenagem pluvial e lançamento em águas superficiais	Contaminação das águas superficiais e de solo superficial	Dissolução, osmose, infiltração, dispersão, dissolução e advecção		
	Tanques, bacias de contenção e parque de bombas	Vazamentos e derramamentos, extravasamento da contenção e na área de bombas, bacia de contenção e tanques em más condições de conservação e/ou não impermeabilizada	Lixiviação de contaminantes e infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	TPH alifáticos e aromáticos, PAH, BTEX, VOC, SVOC, inorgânicos não metálicos, metais e semimetais	Manutenção preventiva nos sistemas de bombeamento, instalação de medidores de vazão ou pressão para identificação de vazamentos nas tubulações, tanques e bacias de contenção em bom estado de conservação, piso impermeabilizado

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 07 – Modelo Conceitual Inicial genérico (MCA 1) – continuação

Processo	Descrição da área fonte	1º estágio		2º estágio		SQI envolvida	Medidas de mitigação propostas
		Fontes potenciais primárias	Mecanismos de liberação	Fontes secundárias	Mecanismos secundários de liberação		
Recebimento, descarregamento e armazenamento de matéria-prima, insumos e fertilizante	Área de domínio da rodovia	Vazamento ou derramamento de matérias-primas, insumos e fertilizantes	Lixiviação de contaminantes ou disposição pelo piso e solo e infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	TPH alifáticos e aromáticos, PAH, BTEX, VOC, SVOC, inorgânicos não metálicos, metais e semimetais	Integridade dos compartimentos de acondicionamento dos materiais
	Portarias e balanças	Acondicionamento ou disposição inadequada de resíduos, vazamento ou derramamento de matérias-primas, insumos e fertilizante	Lixiviação de contaminantes ou disposição pelo piso e solo e infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	TPH alifáticos e aromáticos, PAH, BTEX, VOC, SVOC, inorgânicos não metálicos, metais e semimetais	Integridade dos compartimentos de acondicionamento dos materiais, piso impermeabilizado
	Estacionamento de caminhões	Vazamentos ou derramamentos de óleo e material transportado	Lixiviação de contaminantes e infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	TPH alifáticos e aromáticos, PAH, BTEX, VOC, SVOC, inorgânicos não metálicos, metais e semimetais	Integridade dos compartimentos de acondicionamento dos materiais, piso impermeabilizado
	Boxes de matéria-prima e fertilizantes	Acondicionamento ou disposição inadequada matéria-prima e fertilizantes	Lixiviação de contaminantes, infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	Inorgânicos não metálicos, metais e semimetais	Piso impermeabilizado, segregação dos materiais para evitar contaminação cruzada

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 07 – Modelo Conceitual Inicial genérico (MCA 1) – continuação

Processo	Descrição da área fonte	1º estágio		2º estágio		SQI envolvida	Medidas de mitigação propostas
		Fontes potenciais primárias	Mecanismos de liberação	Fontes secundárias	Mecanismos secundários de liberação		
Recebimento, descarregamento e armazenamento de matéria-prima, insumos e fertilizante	Boxes de matéria-prima e fertilizantes	Emissões atmosféricas de material particulado	Deposição em drenagem pluvial e lançamento em águas superficiais	Contaminação das águas superficiais e de solo superficial	Dissolução, osmose, infiltração, dispersão, dissolução e advecção	Inorgânicos não metálicos, metais e semimetais	Armazéns fechados, com portões e bom estado de conservação, métodos de limpeza a seco e recolhimento nos pisos e estruturas, reuso do efluente pluvial no processo
			Deposição no piso, solo e estruturas, lixiviando os contaminantes e infiltrando pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção		
Produção de fertilizante NPK	Unidades produtivas (acidulação e granulação) e mistura	Vazamento e derramamentos de matérias-primas, insumos, fertilizantes, tortas/lamas, efluentes de processo	Lixiviação de contaminantes e infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	Inorgânicos não metálicos, metais e semimetais	Bacias de contenção nas tancagens, piso impermeabilizado, manutenção preventiva nos sistemas de bombeamento, instalação de medidores de vazão ou pressão para identificação de vazamentos nas tubulações, enclausuramento das correias transportadoras, métodos de limpeza a seco e recolhimento nos pisos e estruturas
		Vazamentos e derramamentos, extravasamento da contenção e na área de bombas, bacia de contenção e tanques em más condições de conservação e/ou não impermeabilizada	Lixiviação de contaminantes e infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	Inorgânicos não metálicos, metais e semimetais	Manutenção preventiva nos sistemas de bombeamento, instalação de medidores de vazão ou pressão para identificação de vazamentos nas tubulações, tanques e bacias de contenção em bom estado de conservação, piso impermeabilizado

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 07 – Modelo Conceitual Inicial genérico (MCA 1) – continuação

Processo	Descrição da área fonte	1º estágio		2º estágio		SQI envolvida	Medidas de mitigação propostas
		Fontes potenciais primárias	Mecanismos de liberação	Fontes secundárias	Mecanismos secundários de liberação		
Produção de fertilizante NPK	Unidades produtivas (acidulação e granulação) e mistura	Emissões atmosféricas de material particulado e gases contendo compostos de fluoreto e nitrogênio	Deposição no piso, solo e estruturas, lixiviando os contaminantes e infiltrando pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	Inorgânicos não metálicos, metais e semimetais	Sistemas de despoeiramento, lavador de gases, prédio da unidade produtiva e correias transportadoras enclausuradas e em bom estado de conservação, métodos de limpeza a seco e recolhimento nos pisos e estruturas, reuso do efluente pluvial e reciclo do efluente de processo
			Deposição em drenagem pluvial e lançamento em águas superficiais	Contaminação das águas superficiais e de solo superficial	Dissolução, osmose, infiltração, dispersão, dissolução e advecção		
		Acondicionamento ou disposição inadequada de matérias-primas, insumos, fertilizantes, resíduos e tortas/lamas geradas no processo	Lixiviação de contaminantes, infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	Inorgânicos não metálicos, metais e semimetais	Piso impermeabilizado, segregação dos materiais para evitar contaminação cruzada, integridade dos compartimentos de acondicionamento dos materiais
		Vazamento de óleo e combustível dos maquinários	Lixiviação de contaminantes, infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial e fase livre ou dissolvida de óleo na água subterrânea	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	TPH alifáticos e aromáticos, PAH, BTEX, VOC, SVOC	Piso impermeabilizado, manutenção preventiva dos maquinários, sistemas de drenagem com caixa separadora de água e óleo, reuso do efluente oleoso no processo
Áreas auxiliares	Área de manutenção, utilidades, lavagem e estacionamento de máquinas e equipamentos e lubrificação e jateamento de graxa e tinta	Vazamentos e derramamentos ou acondicionamento inadequado de produtos químicos, resíduos, efluentes	Lixiviação de contaminantes e/ou disposição pelo piso e solo e infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial e fase livre ou dissolvida de óleo na água subterrânea	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	TPH alifáticos e aromáticos, PAH, BTEX, VOC, SVOC	Bacias de contenção e sistemas de drenagem em bom estado de conservação, piso impermeabilizado, segregação dos materiais para evitar contaminação cruzada, sistemas de drenagem com caixa separadora de água e óleo, reuso do efluente oleoso no processo, disponibilidade de kit de mitigação para contenção de vazamento de óleos e produtos químicos

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 07 – Modelo Conceitual Inicial genérico (MCA 1) – continuação

Processo	Descrição da área fonte	1º estágio		2º estágio		SQI envolvida	Medidas de mitigação propostas
		Fontes potenciais primárias	Mecanismos de liberação	Fontes secundárias	Mecanismos secundários de liberação		
Áreas auxiliares	Área de manutenção, utilidades, lavagem e estacionamento de máquinas e equipamentos e lubrificação e jateamento de graxa e tinta	Extravasamento da contenção, bacia de contenção e sistemas de drenagem em más condições de conservação e/ou não impermeabilizada	Infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial e fase livre ou dissolvida de óleo na água subterrânea	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	TPH alifáticos e aromáticos, PAH, BTEX, VOC, SVOC	Bacias de contenção e sistemas de drenagem em bom estado de conservação, piso impermeabilizado, segregação dos materiais para evitar contaminação cruzada, sistemas de drenagem com caixa separadora de água e óleo, reuso do efluente oleoso no processo, disponibilidade de kit de mitigação para contenção de vazamento de óleos e produtos químicos
		Vazamento de óleo e combustível dos maquinários	Lixiviação de contaminantes, infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial e fase livre ou dissolvida de óleo na água subterrânea	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	TPH alifáticos e aromáticos, PAH, BTEX, VOC, SVOC	Piso impermeabilizado, manutenção preventiva dos maquinários, sistemas de drenagem com caixa separadora de água e óleo, reuso do efluente oleoso no processo, disponibilidade de kit de mitigação para contenção de vazamento de óleos
	Subestações de Energia Elétrica	Vazamentos e derramamentos de óleo com extravasamento de bacia de contenção em más condições de conservação e vazamentos de óleo em transformadores	Lixiviação de contaminantes, infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial e fase livre ou dissolvida de óleo na água subterrânea	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	TPH alifáticos e aromáticos, PAH, BTEX, VOC, SVOC, PCB	Piso impermeabilizado, bacias de contenção, disponibilidade de kit de mitigação para contenção de vazamento de óleos, transformadores em bom estado de conservação
	Operação de maquinários	Vazamento de óleo e combustível dos maquinários	Lixiviação de contaminantes, infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial e fase livre ou dissolvida de óleo na água subterrânea	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	TPH alifáticos e aromáticos, PAH, BTEX, VOC, SVOC	Piso impermeabilizado, manutenção preventiva dos maquinários, disponibilidade de kit de mitigação para contenção de vazamento de óleos

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 07 – Modelo Conceitual Inicial genérico (MCA 1) – continuação

Processo	Descrição da área fonte	1º estágio		2º estágio		SQI envolvida	Medidas de mitigação propostas
		Fontes potenciais primárias	Mecanismos de liberação	Fontes secundárias	Mecanismos secundários de liberação		
Áreas auxiliares	Central de resíduos	Acondicionamento inadequado de resíduos e vazamentos de óleo, graxa e produtos químicos descartados	Lixiviação de contaminantes ou disposição pelo piso e solo e infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial e fase livre ou dissolvida de óleo na água subterrânea	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	TPH alifáticos e aromáticos, PAH, BTEX, VOC, SVOC, inorgânicos não metálicos, metais e semimetais	Piso impermeabilizado, caixas separadora de água e óleo, segregação dos resíduos para evitar contaminação cruzada, estrutura civil em bom estado de conservação, procedimentos e plano de gerenciamento de resíduos
	Áreas de Lançamentos de efluentes	Lançamento de efluente líquido bruto ou tratado não atendendo os padrões de qualidade	Lançamento em corpo hídrico e/ou infiltração pelo piso e solo	Contaminação das águas superficiais e de solo superficial	Dissolução, osmose, infiltração, dispersão, dissolução e advecção	TPH alifáticos e aromáticos, PAH, BTEX, VOC, SVOC, inorgânicos não metálicos, metais e semimetais	Estação de tratamento de efluentes, métodos de limpeza a seco e recolhimento nos pisos e estruturas, reuso do efluente pluvial no processo, lagoas de armazenamento de efluente impermeabilizadas
	Área do laboratório	Lançamento de efluente com contaminantes não monitorados ou não atendendo os padrões de qualidade	Lançamento em corpo hídrico e/ou infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial	Dissolução, osmose, infiltração, dispersão, dissolução e advecção	SQI desconhecida ou não monitorada	Padronização para a adequada destinação dos produtos químicos, incluindo neutralização, logística reversa ou tratamento em empresa externa e licenciada.
	Estação de tratamento de efluente sanitário (ETE), fossas sépticas e estação de tratamento de efluente industrial (ETEL)	Vazamentos ou derramamento de efluente, extravasamento da contenção, bacia de contenção e sistemas de drenagem em más condições de conservação e/ou não impermeabilizada e vazamentos na área de bombas	Infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	Inorgânicos não metálicos, metais e semimetais	Controle de nível das bacias, tanques e lagoas de contenção do efluente bruto, sistemas de armazenamento do efluente bruto impermeabilizados, inspeção preventiva para avaliação da estanqueidade das bacias de contenção, manutenção preventiva nos sistemas de bombeamento, piso impermeabilizado, padronização do procedimento de tratamento

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 07 – Modelo Conceitual Inicial genérico (MCA 1) – continuação

Processo	Descrição da área fonte	1º estágio		2º estágio		SQI envolvida	Medidas de mitigação propostas
		Fontes potenciais primárias	Mecanismos de liberação	Fontes secundárias	Mecanismos secundários de liberação		
Áreas auxiliares	Estação de tratamento de efluente sanitário (ETE), fossas sépticas e estação de tratamento de efluente industrial (ETEL)	Lançamento de efluente não atendendo os padrões de qualidade	Lançamento em corpo hídrico e/ou infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial	Dissolução, osmose, infiltração, dispersão, dissolução e advecção	Inorgânicos não metálicos, metais e semimetais	Análise do efluente tratado antes do lançamento, reuso do efluente tratado no processo
	Sistemas de drenagens	Extravasamento da contenção, bacias de contenção e sistemas de drenagem em más condições de conservação e/ou não impermeabilizada	Lixiviação de contaminantes, infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial e fase livre ou dissolvida de óleo na água subterrânea	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	TPH alifáticos e aromáticos, PAH, BTEX, VOC, SVOC, inorgânicos não metálicos, metais e semimetais	Padronização de rotina de limpeza dos sistemas de drenagem, inspeção preventiva para avaliação da estanqueidade, impermeabilização, reuso do efluente no processo
	Caixas separadoras de água e óleo	Vazamentos e derramamentos de óleo com extravasamento de bacia de contenção em más condições de conservação e/ou não impermeabilizado	Infiltração pelo piso e solo	Contaminação do solo superficial e subsuperficial e fase livre ou dissolvida de óleo na água subterrânea	Lixiviação, dispersão, dissolução e advecção	TPH alifáticos e aromáticos, PAH, BTEX, VOC, SVOC, inorgânicos não metálicos, metais e semimetais	Piso impermeabilizado, manutenção preventiva nas caixas separadoras, inspeção preventiva para avaliação da estanqueidade dos sistemas de drenagem, caixa separadora de água em bom estado de conservação

Fonte: Elaborado pela autora.

7. CONCLUSÕES

A primeira etapa para iniciar o gerenciamento de áreas contaminadas é a avaliação preliminar, que permite identificar as áreas fontes e as fontes potenciais de contaminação. Essa etapa envolve a análise inicial de informações obtidas em documentos, imagens de satélite, entrevistas, inspeções in loco e demais fontes de informações relevantes e confiáveis para o estudo. Durante a avaliação preliminar, também é importante considerar fatores como as atividades desenvolvidas no passado na área de interesse, o histórico do uso da terra e as incertezas relacionadas a ausência de informações detalhadas sobre o histórico de operação na área. Os resultados desta fase irão orientar a necessidade de estudos complementares e detalhados para caracterizar a área de estudo e definir o melhor e mais eficaz plano de e remediação a ser adotado.

Portanto, este estudo visou identificar as principais fontes de contaminação do solo e da água subterrânea em indústrias de produção de fertilizantes NPK, por meio da avaliação de dados bibliográficos e documentos obtidos em processos de licenciamento de empresas deste setor, não incluindo a avaliação de informações detalhadas sobre o histórico de operação e uso do solo, bem como inspeções em campo.

As análises realizadas neste trabalho são genéricas e para a complementação e obtenção de informações mais detalhadas e precisas, é importante considerar as particularidades de cada empreendimento e área. Portanto, este trabalho pode servir como um guia geral para auxiliar profissionais na elaboração de estudos de avaliação preliminar em indústrias de fabricação e mistura de fertilizantes NPK. Também, pode ser útil na análise de relatórios técnicos, para confrontar os resultados da avaliação preliminar de um empreendimento específico, incluindo a identificação das principais áreas fontes e fontes potenciais de contaminação, incertezas sobre o processo produtivo e matérias-primas utilizadas, substâncias químicas de interesse e medidas mitigatórias para reduzir ou retardar a contaminação. Além disso, as análises realizadas neste trabalho podem ser utilizadas como base para a definição das diretrizes gerais na criação de um plano de amostragem para o desenvolvimento da investigação confirmatória na área em estudo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16210: Modelo Conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas. 2. ed. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15515-1: Passivo Ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação Preliminar. 2. ed. Rio de Janeiro, 2021.

ALFA, Empresa. Relatório de Inventário de Fontes – Ano base 2020. Rio Grande, 2020. 64 p. (Relatório Técnico).

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%206.938%2C%20DE%2031%20DE%20AGOSTO%20DE%201981&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional,aplica%C3%A7%C3%A3o%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias. Acesso em: 09 de janeiro de 2024.

BRASIL. Lei nº 12.305/2010, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 15 de dezembro de 2023.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 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. Brasília, DF, dez 2009. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/images/conteudo/LivroConama.pdf>. Acesso em: 13 de novembro de 2023.

BRASIL, Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. Produção Nacional de Fertilizantes: Estudo estratégico. Brasília: SAE, 2020.

BRASIL, Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. Plano Nacional de Fertilizantes 2050 (PNF 2050): Uma estratégia para os fertilizantes no Brasil. Brasília: SAE, 2021.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Decisão de Diretoria nº 038/2017, de 7 de fevereiro de 2017. Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/DD-038-2017-C.pdf>. Acesso em: 16 de novembro de 2023.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível (MTPD). São Paulo, SP, 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2015/09/GUIA-PREFE-020517.pdf>. Acesso em 16 de novembro de 2023.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Manual de Gerenciamento de áreas contaminadas. (recurso eletrônico). São Paulo, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/apresentacao/>. Acesso em: 17 de novembro de 2023.

CHADWICK, Sharon S. *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. Reference Services Review*, v. 16, n. 4, p. 31-34, 1988.

CPEA, Consultoria, Planejamento e Estudos Ambientais; Avaliação Ambiental Preliminar e Investigação Ambiental Confirmatória. Canoas, 2022. 172 p., parte 1. (Relatório Técnico).

DO SUL, Rio Grande. "Resolução CONSEMA nº 372, de 22 de fevereiro de 2018." Dispõe sobre os empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, passíveis de licenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Sul, destacando os de impacto de âmbito local para o exercício da competência municipal no licenciamento ambiental. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202112/23105618-consema-372-2018-atividades-licenciavies-municipios.pdf>. Acesso em 05 de dezembro de 2023.

FARIAS, Pedro Igor Veillard; Aspectos técnicos e econômicos da indústria de fertilizantes NPK no Brasil. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 172 p., 2015.

FEPAM, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler. Informações para Licenciamento Ambiental de: Atividades Industriais, Licença de Operação – LO. Código 1031, versão maio 2019. Homologado em 17 de novembro de 2021. Disponível em: <https://secweb.procergs.com.br/sra/mod-licenciamento/historicoVw-list.xhtml>. Acesso em: 21 de dezembro de 2023.

FEPAM, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler. Licenciamento Ambiental, (recurso eletrônico). Disponível em: <https://ww3.fepam.rs.gov.br/licenciamento/Area1/default.asp>. Acesso em: 05 de dezembro de 2023.

FEPAM, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler. Sistema Online de Licenciamento Ambiental, (recurso eletrônico). Disponível em: <https://secweb.procergs.com.br/sra/mod-licenciamento/inicio.xhtml>. Acesso em: 07 de dezembro de 2023.

G&P, Soluções Ambientais. Relatório de Atendimento de Condicionantes Ambientais. Porto Alegre, 2021. 37 p. (Relatório Técnico).

ISHERWOOD K. F.O Uso de Fertilizantes Minerais e o Meio Ambiente, publicado pela *International Fertilizer Industry Association (IFA)* – original / *United Nations Environment Programme* – edição revisada - (UNEP), (França), Edição em português pela Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA). (2000).

LOPES A.S., J.A.; ALCARDE, J.C.; Os adubos e a eficiência das adubações. Boletim Técnico Nº 3 da ANDA. Dezembro de 1998.

LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. Rochas & minerais industriais: usos e especificações. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005.

PROPEQ. Fertilizantes: processo produtivo e considerações ambientais. 2020. Disponível em: <https://propeq.com/fertilizantes/>. Acesso em: 14 de novembro de 2023.

SALVATERRA, Manuel F. da S.; Determinação do Índice de Risco. Rio Grande, 2020. 12 p. (Relatório Técnico).

SALVATERRA, Manuel F. da S.; Determinação do Índice de Risco. Rio Grande, 2021. 34 p. (Relatório Técnico).

SÁNCHEZ, L.E. Desengenharia: O passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais. São Paulo: Edusp/Fapesp, 2001. 256 p.

SÃO PAULO (Estado). Decreto Estadual nº 59.263, de 5 de junho de 2013. Regulamenta a Lei nº 13.577, de 8 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado, São Paulo, 6 jun. 2013.

SCANDOLEIRA, Fernando Cezar; Desenvolvimento de método laboratorial de determinação de quantidade de particulados em suspensão no ar. Tese (Mestrado em Engenharia de Minas) – Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 60 p., 2012.

SETH, H. *Profile of the Agricultural Chemical, Pesticide, and Fertilizer Industry*. EPA office of compliance sector notebook project, p. 1-200, 2000.

SILVA, Renan Finamore G. da; Gestão de áreas contaminadas e conflitos ambientais: o caso da Cidade dos Meninos. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 110 p., 2007.

USEPA, *United States Environmental Protection Agency. Development Document for Effluent Limitations Guidelines and New Source Performance Standards for the Basic Fertilizer Chemicals Segment of the Fertilizer Manufacturing Point Source Category*, EPA, Office of Air and Water Programs, Washington, DC, 1974. Disponível em: <https://www.epa.gov/eg/fertilizer-manufacturing-effluent-guidelines-documents>. Acesso em 08 de janeiro de 2024.

USEPA, *United States Environmental Protection Agency. Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42), Fifth edition*, EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC, 1993a. Disponível em: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors-stationary-sources>. Acesso em 08 de janeiro de 2024.

USEPA, *United Nations Environment Programme. Mineral Fertilizer Production and the Environment, Technical Report N.26*, United Nations Industrial Development Organization, 1996. Disponível em: <https://digitallibrary.un.org/record/244972?ln=ru>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.

USEPA, *United States Environmental Protection Agency. Development Document for Best Available Technology, Pretreatment Technology, and New Source Performance Technology for the Pesticide Formulating, Packaging, and Repackaging Industry*, EPA, Office of Water,

Washington, DC, 1996. Disponível em: <https://www.epa.gov/eg/fertilizer-manufacturing-effluent-guidelines-documents>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.

USEPA, *United States Environmental Protection Agency*. *Fourth five-years review report Love Canal superfund site city of Niagara Falls*. EPA, *Region 2*, New York, 2019. Disponível em: <https://semspub.epa.gov/work/02/562808.pdf>. Acesso em 09 de janeiro de 2024.