

**Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo**

**Rita de Cassia Cavalcanti de Souza**

**Diretrizes para avaliação de disposição de resíduo sólido industrial na agricultura. Estudo de caso: resíduo do processo de purificação do concentrado de minério de cloreto de potássio (KCl)**

**São Paulo  
2009**

Rita de Cassia Cavalcanti de Souza

Diretrizes para avaliação de disposição de resíduo sólido industrial na agricultura.  
Estudo de caso: resíduo do processo de purificação do concentrado de minério de  
cloreto de potássio (KCl)

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do  
Estado de São Paulo - IPT, como requisito  
para a obtenção do título de Mestre em  
Tecnologia Ambiental.

Data da aprovação \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

---

Profa. Dra. Clarita Schwartz (Orientadora)  
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
do Estado de São Paulo

Membros da Banca Examinadora:

Profa. Dra. Clarita Schwartz (Orientadora)  
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Prof. Dr. Wagner Bettioli (Membro)  
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Prof. Dr. Márcio Augusto Rabelo Nahuz (Membro)  
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Rita de Cassia Cavalcanti de Souza

Diretrizes para avaliação de disposição de resíduo sólido industrial na agricultura. Estudo de caso: resíduo do processo de purificação do concentrado de minério de cloreto de potássio (KCl)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, como requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Área de concentração: Mitigação de Impactos Ambientais

Orientadora: Profa. Dra. Clarita Schwartz

São Paulo  
Julho/2009

## **AGRADECIMENTOS**

À minha orientadora Prof. Dra. Clarita Schwartz, pela paciência e orientação fornecida durante a elaboração desta etapa de minha dissertação.

Aos professores da banca examinadora por aceitar o convite de participar desta avaliação e aos comentários realizados para o melhoramento desta dissertação.

Aos proprietários da empresa química do estudo de caso, que possibilitaram o acesso de todas as informações necessárias para a elaboração deste estudo.

Ao Prof. Dr. Omar Bitar Yazbek (IPT), pelos recursos auxiliados para as minhas análises.

À Prof. Dra. Vilma Alves Campanha (IPT) que, durante a aplicação de suas aulas, muito ensinou em disciplina e conhecimento.

Aos pesquisadores Dr. Wagner Bettioli (Embrapa Meio Ambiente), Dr. Ronaldo S. Berton (IAC) e MSc. Elvira Lidia Strauss (CETESB), pela generosidade em compartilhar comigo as suas experiências e visões na área de reaproveitamento de resíduos industriais na agricultura, inclusive contribuindo para a determinação do objetivo desta dissertação.

À advogada MSc. Adriana Cerântola, pelas interpretações e orientações jurídicas das legislações ambientais relacionadas ao assunto abordado nesta dissertação.

Aos meus colegas de curso, pela troca de experiências e incentivos durante todo o período.

À minha família e aos meus amigos, pela confiança depositada e incentivo.

Ao meu marido Leandro Candido Batista por sua compreensão e pelo apoio em todos os momentos desta importante etapa da minha vida.

## RESUMO

Esta dissertação apresenta um estudo de caso, de uma indústria química que procura propor diretrizes para avaliar o potencial agrícola de um particular resíduo sólido industrial. Utilizando-se algumas análises propõe-se, como opção ao descarte, uma possível aplicação na agricultura, fundamentada na legislação ambiental e agrícola vigente.

O resíduo em questão é obtido durante o processo de filtração para a purificação do concentrado de minério de cloreto de potássio (KCl). Neste importante processo são removidas impurezas da matéria-prima por emprego de máquinas e produtos químicos, atingindo a qualidade exigida por outras indústrias consumidoras. No final deste processo é gerado um resíduo denominado *borra de filtração*, que até o presente momento não possui finalidade alguma a não ser a destinação para aterro industrial.

Durante o processo a borra de filtração retém as impurezas não desejáveis além de uma fração do produto processado (KCl). Este resíduo foi analisado de acordo com a NBR ABNT 10004/2004 que o classificou como de Classe IIA – não-perigoso e não-inerte. Para disposição no meio ambiente os resultados apresentaram-se satisfatórios em diversos parâmetros e os dados obtidos indicam algum potencial para a agricultura. No futuro novos testes podem ser realizados para avaliar seu verdadeiro potencial como teste em casa de vegetação.

Existem diversas indústrias químicas dedicadas ao processamento de outros tipos de matéria-prima inorgânica, e pode haver a possibilidade de reaproveitar subprodutos gerados durante diferentes processos, resíduos contendo elementos químicos essenciais para o solo, por exemplo, K, P, N, S, Mn, Fe, Cu etc. Identificando novas finalidades para estes materiais, pode-se proporcionar diminuição e até mesmo eliminação de resíduos e poluentes dispostos no meio ambiente, além de evitar o uso de aterros ou queima em incineradores.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Industriais; Cloreto de Potássio; Legislação Ambiental; Solo; Agricultura.

## ABSTRACT

### **Guidelines for evaluation of disposal of industrial solid waste in agriculture. Case study: the waste of the purification process of the potassium chloride ore concentrated (KCl)**

This dissertation presents a study of case about a chemical industry that seeks to propose guidelines for assessing the potential of a particular industrial solid waste.

Using a few tests it is proposed as an option to discard a possible application in agriculture, based on current agricultural and environmental law. The waste in question is obtained during the filtration process for purification of potassium chloride ore concentrated (KCl). In this important process, impurities are removed from raw material by use of machinery and chemicals for reaching the quality required by customers. At the end of this process a waste called sludge filtration is created, which so far doesn't have any purpose than allocation for industrial landfill. This is the industrial solid waste, which this paper refers. During the process, the sludge filtration retains impurities and a fraction of the processed product (KCl). This waste was analyzed according to ABNT NBR 10004/2004 and classified as Class IIA - non-hazardous and non-inert. For disposal in the environment, these results were satisfactory in various parameters and data obtained indicates some potential for agriculture. In future, new tests could be done in order to weigh its true potential up. There are several chemical industries processing other types of inorganic raw materials, and there might be the possibility to reuse other types of solid waste generated during different processes, waste containing chemical elements essential to the soil, for example, K, P, N, S, Mn, Fe, Cu etc. Identifying new purposal for these materials, we can provide a decreasing and even elimination of waste and pollutants disposed into the environment, and avoid use of landfills or incinerators.

**Keywords:** Industrial Solid Waste; Potassium chloride; Environmental Law; Soil; Agriculture.

## Lista de Ilustrações

Figura 1. Fluxograma para caracterização e classificação de resíduos .....	23
Figura 2. Evolução das questões ambientais para o controle de poluição nas indústrias.....	31
Figura 3. Fluxograma da geração de opções de Produção mais Limpa (P+L).....	32
Figura 4. Fluxo do processo de purificação do concentrado de minério de cloreto de potássio (KCl).....	47
Figura 5. Entradas e saídas do processo de purificação do concentrado de minério de cloreto de potássio (KCl) .....	55
Fotografia 1. Modelo do filtro sparkler utilizado na purificação do concentrado de minério de cloreto de potássio.....	50
Fotografia 2. Filtro sparkler: montagem das placas de polietileno intercaladas com papéis porosos .....	50
Fotografia 3. Filtro sparkler: visualização da borra de filtração retida entre as placas de polietileno e os papéis porosos .....	51
Fotografia 4. Borra de filtração retida nas placas de polietileno do filtro sparkler.....	51
Fotografia 5. Borra de filtração do concentrado de minério de cloreto de potássio...	52
Fotografia 6. Saída de água de lavagem do filtro sparkler .....	52
Quadro 1. Resíduo sólido – Classificação.....	21
Quadro 2. Relação dos parâmetros para caracterização química e microbiológica do lodo de esgoto, segundo Norma CETESB P4230/99 e Resolução CONAMA n° 375/2006 .....	25
Quadro 3. Macronutrientes e micronutrientes essenciais para fertilidade do solo e crescimento de plantas .....	35
Quadro 4. Exemplos de resíduos pesquisados para disposição na agricultura.....	40

## Lista de Tabelas

Tabela 1. Limites aceitáveis de concentração de metais pesados no lodo de esgoto para uso agrícola (base seca), segundo Norma CETESB P4230/99 e Resolução CONAMA n° 375/2006 .....	26
Tabela 2. Principais minerais de potássio e seus teores equivalentes de K <sub>2</sub> O e K, em peso (%). .....	36
Tabela 3. Fórmula padrão para produção de cloreto de potássio (KCl) P.A. / U.S.P. / PURO SECO, indicando entradas e saídas de ACV .....	55
Tabela 4. Fórmula padrão para produção de cloreto de potássio (KCl) FREE FLOW, indicando entradas e saídas de ACV .....	56
Tabela 5. Características do insumo – carvão ativado .....	59
Tabela 6. Características do insumo – dióxido de silício (diatomita) .....	60
Tabela 7. Características do insumo – concentrado de minério de KCl .....	60
Tabela 8. Características do insumo – silicato de alumínio e sódio .....	61
Tabela 9. Características de periculosidade das amostras da borra de filtração de KCl .....	62
Tabela 10. Ensaio de lixiviação na borra de filtração de KCl .....	62
Tabela 11. Concentração de constituintes presentes no extrato do teste de lixiviação da amostra de resíduo de borra de filtração de KCl .....	63
Tabela 12. Ensaio de solubilização na borra de filtração de KCl .....	64
Tabela 13. Concentração de constituintes presentes no extrato do teste de solubilização da amostra de resíduo de borra de filtração de KCl .....	64
Tabela 14. Teor de potássio na borra de filtração de KCl .....	65
Tabela 15. Teste microbiológico na borra de filtração de KCl .....	66



## Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT.....	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV.....	Análise do Ciclo de Vida
ANDA.....	Associação Nacional dos Difusores de Adubos
CADRI.....	Certificado de Aprovação de Destinação de Resíduos Industriais
CETESB.....	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA.....	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRQ.....	Conselho Regional de Química
DBO.....	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EMBRAPA.....	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FIESP.....	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FUNDAG.....	Fundação de Apoio À Pesquisa Agrícola
IAC.....	Instituto Agrônômico de Campinas
IPT.....	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISO.....	<i>International Organization for Standardization</i>
LI.....	Licença de Instalação
LO.....	Licença de Operação
LV.....	Latossolo Vermelho
LVA.....	Latossolo Vermelho Amarelo
LVE.....	Latossolo Vermelho Escuro
MAPA.....	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NBR.....	Norma Brasileira
NPK.....	Nitrogênio+Fósforo+Potássio
NV.....	Nitossolo Vermelho
PA.....	Para Análise
P+L.....	Produção mais Limpa
RQ.....	Neossolo Quartazarênico
SENAI.....	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SP.....	São Paulo
USEPA.....	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
USP.....	<i>United States Pharmacopeia</i>

## Lista de Símbolos e Unidades

$\mu$	.....	mícron
Ca	.....	Cálcio
Cr	.....	Cromo
DOP	.....	Diocetil-ftalato
ha	.....	hectare
K	.....	Potássio
$K_2O$	.....	Óxido de potássio
$K_2SO_4$	.....	Sulfato de potássio
KCl	.....	Cloreto de potássio
kg	.....	quilo
km	.....	quilômetro
$KMg(SO_4)_2$	.....	Sulfato de potássio e magnésio
$KNO_3$	.....	Nitrato de potássio
L	.....	litro
LAS	.....	Alquilbenzeno Linear Sulfonado
Mg	.....	Magnésio
mg	.....	miligrama
NaCl	.....	Cloreto de sódio
$^{\circ}C$	.....	grau Celsius
rpm	.....	rotação por minuto
Si	.....	Silício
t	.....	tonelada
Zn	.....	Zinco

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1 Geral .....	15
2.2 Específicos .....	15
<b>3 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS</b> .....	<b>16</b>
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
4.1 Resíduos Sólidos Industriais.....	18
4.1.1 Legislação Ambiental.....	18
4.2 Gerenciamento e minimização de resíduos.....	27
4.2.1 Contexto Ambiental: Prática de Tecnologias Limpas na Indústria Química..	29
4.3 Tratamentos e disposição final de resíduos sólidos industriais .....	33
4.4 Disposição de resíduos sólidos no solo .....	34
4.4.1 A importância dos elementos químicos essenciais no solo .....	34
4.4 Potássio .....	35
4.5 Aplicação de resíduos na agricultura.....	36
<b>5 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO: processo de purificação de minério de Cloreto de Potássio (KCl)</b> .....	<b>45</b>
5.1 Apresentação.....	45
5.2 Caracterização da empresa.....	45
5.3 Processo Industrial – Purificação de minério de Cloreto de Potássio (KCl).....	46
5.4 Análise do Processo Produtivo – Entradas e Saídas.....	54
<b>6 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDO INDUSTRIAL: Borra de Filtração KCl</b> .....	<b>58</b>
6.1 Amostragem .....	58
6.2 Resultados.....	59
6.2.1 Caracterização dos insumos do processo produtivo de purificação de Cloreto de Potássio (KCl).....	59
6.2.2 Caracterização da borra de filtração do processo de purificação de Cloreto de Potássio (KCl).....	61
<b>7 DISCUSSÃO</b> .....	<b>67</b>
7.1. Insumos e resíduo do processo produtivo de purificação de Cloreto de Potássio .....	67
7.2. Aplicação agrícola da borra de filtração do processo de purificação do cloreto de potássio .....	69
7.3 Diretrizes para avaliação de disposição de resíduo industrial na agricultura...	72
<b>8 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>74</b>
<b>Referências</b> .....	<b>76</b>

<b>Anexos .....</b>	<b>82</b>
<b>Anexo A – Planilha de Controle de Resíduo – Processo Produtivo .....</b>	<b>83</b>
<b>Anexo B – Modelo de Ficha de Produção: Purificação de concentrado de minério de KCl .....</b>	<b>84</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em todos os ciclos de desenvolvimento de toda e qualquer atividade humana tem-se como resultado a produção de resíduos. Com o crescimento da sociedade gera-se o aumento na demanda pela manutenção e melhoria das condições ambientais, exigindo assim das autoridades e das empresas públicas e privadas, atividades capazes de compatibilizar o desenvolvimento às limitações da exploração dos recursos naturais, aplicando tecnologias apropriadas e ecologicamente corretas, para provocar uma redução da utilização de recursos naturais, de desperdício, da geração de resíduos e da poluição (BETTIOL e CAMARGO, 2006).

As exigências da sociedade pressionam as atividades de maior relevância em nosso cotidiano, como as atividades industriais, que em um passado não muito distante, não contemplavam preocupações pertinentes à geração de resíduos e suas conseqüências, visando somente o lucro de seus produtos e deixando de lado a preocupação com os custos necessários para o tratamento e disposição dos resíduos (VALLE, 1997).

Em meados da década de 1980, a maioria dos países elaboraram leis ambientais ou tornaram as existentes mais restritivas, regulando as atividades industriais e comerciais. Como medida para garantir o cumprimento da legislação, surgiram os órgãos ambientais nos diversos níveis governamentais (SACHS, 2000).

A partir deste fato, teve início o aumento no desenvolvimento de tecnologias ambientais para buscar soluções quanto à degradação dos recursos naturais e à disposição de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, entre outros assuntos.

Os resíduos sólidos industriais merecem cada vez mais atenção de especialistas e do poder público que se dedicam ao trabalho de melhoria da qualidade ambiental. Todos os países, não importando sua localização ou seu “status” internacional, produzem milhões de toneladas por dia de resíduos, o que justifica a obrigatoriedade da criação de mecanismos que produzam o desenvolvimento e a implantação de tecnologias para reverter este quadro (MARTINS e OLIVEIRA, 2003).

Levando em consideração que a natureza tem condições de promover o “tratamento natural” de poluentes, há um grande número de indústrias que geram resíduos de natureza perigosa e variada, tornando o cenário problemático tanto do ponto de vista de saúde pública, ambiental, como do ponto de vista econômico, devido ao

desequilíbrio da balança, carga poluidora versus biodecomposição ou tratamento natural (SACHS, 2005 e VALLE, 1997).

O industrial ao optar por aplicar estratégias tecnológicas obtém benefícios como o uso racional das matérias-primas e a redução de resíduos gerados na produção, que conseqüentemente traz outros benefícios de ordem financeira, somados às vantagens ambientais que acontecem duplamente: redução no consumo recursos naturais e de volume de resíduos lançados na natureza (PINTO, 2004).

As indústrias, de um modo geral, devem constantemente inovar, criando e produzindo novas formas de fabricar os seus produtos, minimizando os impactos liberados para o ambiente. Todo produto, não importa de que material seja feito (madeira, vidro, plástico, papel etc) provoca um impacto no ambiente, seja em função de seu processo produtivo, das matérias-primas que consome, ou devido ao seu uso ou destinação final pós-consumo (CHEHEBE, 1997).

As indústrias químicas, em geral, destacam-se por contribuírem com geração de resíduos com grandes volumes e periculosidades, pois em seus processos produtivos, requerem a utilização de grandes quantidades de insumos para a obtenção do seu produto de interesse.

Para controlar a geração de resíduos industriais, um programa de gerenciamento deve ser implementado de forma a assegurar à sociedade os mínimos impactos ambientais para manter a preservação da saúde coletiva e a conservação dos recursos naturais. O industrial deve abordar no controle de seus resíduos o estudo para minimização, reutilização e reciclagem; formas de manuseio e segregação; a segurança no acondicionamento, no transporte, no armazenamento, no tratamento, e disposição final dos resíduos sólidos industriais (PINTO, 2004).

Nas atuais condições de gerenciamento de resíduos industriais, apesar das exigências legais vigentes, ainda encontramos um mercado em desenvolvimento, com tecnologias que estão em busca de aperfeiçoamento para atender a demanda.

Atualmente há resíduos sólidos que são direcionados e estudados para a aplicação na agricultura, contribuindo como micro ou macronutriente para as plantações e, assim, diminuindo a sua disposição em aterros ou queima em incineradores, como por exemplo, o biossólido gerado a partir do lodo de estações de tratamento de esgoto (ABREU e ANDRADE, 2006).

O estudo de caso desta dissertação, refere-se a uma indústria química, cuja matéria-prima processada é um concentrado de minério de cloreto de potássio (KCl) e o

produto final, resultante de sua purificação, é utilizado como insumo para os setores farmacêuticos, alimentícios, cosméticos, químicos entre outros.

Nesta indústria química, uma das etapas mais importantes para a qualidade do produto final é a de filtração, onde são adicionados insumos para a remoção de impurezas da matéria-prima; no final desta etapa é gerado o resíduo de filtração caracterizado como resíduo sólido industrial, que contém concentração variada de sais inorgânicos do minério processado e outros contaminantes.

Outras indústrias da área química, que possuem processos produtivos semelhantes ao deste estudo de caso, utilizam outros minérios que geram resíduos finais em seus processos com variações de alguns elementos essenciais micro e macronutrientes para as plantas, com a possibilidade de se aproveitar as borras das filtrações para direcionar as suas disposições na agricultura.

Com o objetivo de viabilizar a análise da aplicação no solo de um resíduo sólido, originado de processos químicos industriais, como alternativa de disposição na agricultura, estabeleceu-se um procedimento baseado em normas, requisitos legais e caracterização físico-química, que se apresenta no desenvolvimento desta dissertação.

Com a visão de encontrar uma nova alternativa de disposição final para o resíduo industrial, a borra de filtração do processo de purificação de KCl, pode-se propor diretrizes para avaliar a aplicação destes resíduos na agricultura, proporcionando a redução de poluentes dispostos no ambiente por métodos convencionais. Esta prática pode até promover mudanças nos processos produtivos como: redução de custos com o tratamento de resíduos e reciclagem ou reaproveitamento de resíduos, vistos neste caso como aplicação em uma atividade distinta. Estas vantagens podem proporcionar um resultado abrangente, com reflexos nas avaliações dos balanços econômicos, ambientais e sociais de indústrias químicas.

## **2 OBJETIVOS**

Os objetivos da pesquisa subdividem-se em geral e específicos, conforme a seguir descritos.

### **2.1 Geral**

O objetivo geral da pesquisa é apresentar diretrizes para estudar alternativa de disposição na agricultura de resíduo de filtração (resíduo sólido industrial), gerado durante o processo de purificação do sal inorgânico de cloreto de potássio (KCl) em indústria química.

### **2.2 Específicos**

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) Estudar o processo produtivo e caracterizar o resíduo de filtração;
- b) Estudar alternativa de disposição final no solo do resíduo obtido na purificação de KCl, apoiada em análises físico-químicas, normas técnicas e legislação vigente; e
- c) Propor diretrizes para avaliação de disposição na agricultura, de resíduos gerados nas indústrias químicas, com vistas à sua inclusão no plano de gerenciamentos de resíduos.



### 3 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

O estudo de caso foi o método utilizado neste trabalho, abrangendo a análise do cenário da indústria química escolhida, o gerenciamento de resíduos, a análise do resíduo estudado e a análise de normas e técnicas e legislação.

Os procedimentos adotados para este trabalho foram organizados da seguinte forma:

- a) Definição dos tópicos e palavras-chave a serem pesquisados, considerando-se o tema e os objetivos;
- b) Revisão bibliográfica, abrangendo:
  - gerenciamento de resíduos industriais
  - tipos de destinações de resíduos industriais
  - exemplos de disposição de resíduos na agricultura
  - normas técnicas e legislações vigentes para disposição de resíduos industriais na agricultura
- c) Caracterização da indústria química abordada, em termos de:
  - descrição do processo de purificação do concentrado de minério de KCl
  - descrição do método atual de gerenciamento adotado para o resíduo gerado no processo de purificação de KCl
  - caracterização do resíduo gerado no processo de purificação de KCl (análises físico-químicas e microbiológicas)
- d) Correlação dos resultados da caracterização do resíduo estudado com as normas e legislação de referência para aplicação de resíduos na agricultura;
- e) Apresentação de diretrizes para avaliação de disposição de resíduo da indústria química na agricultura; e
- f) Apuração das conclusões e recomendações.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Há muitos anos, o homem procura diminuir os resíduos provenientes de suas atividades socioeconômicas e industriais. O gerenciamento de resíduos tem se transformado, nas últimas décadas, em um dos temas ambientais mais complexos. O número crescente de materiais e substâncias identificados como perigosas e a geração desses resíduos em quantidades expressivas têm exigido soluções mais eficazes e investimentos maiores por parte de seus geradores e da sociedade de forma geral.

Nos processos de produção e consumo, inevitavelmente terminam sobrando restos e rejeitos que não são recuperados ou reintegrados nos ciclos dessas atividades, especialmente, por carecer-se de tecnologia ou ainda de meios econômicos (CAMPOS et al., 2002).

Os resíduos industriais apresentam-se como fontes de alto risco de contaminação ao ambiente. Por este fato, a motivação da percepção dos dirigentes, ou simplesmente uma defesa da imagem de uma empresa, possibilita contornar esta situação para valorizar a relação indústria e ambiente, por meio de desenvolvimento tecnológico e aplicabilidade de normas e legislação (VALLE, 1997).

Os resíduos sólidos industriais são originados de diversas atividades, que podem ser de: indústrias extrativas – consistem em todas as atividades de extração com ou sem beneficiamento de minerais sólidos, líquidos ou gasosos, que se encontram em estado natural; e indústrias de transformação – transformam matérias-primas de origem mineral, vegetal ou animal em produtos de consumo (PINTO, 2004).

A RESOLUÇÃO CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002, define resíduos sólidos industriais como:

Art. 2. Inciso I: todos os resíduos que resultam de atividades industriais e que se encontram nos estados sólido, semi-sólido, gasoso e líquido, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição (BRASIL, 2002).

Em termos tanto de composição como de volume, os resíduos variam em função das práticas de consumo e dos métodos de produção. As principais preocupações estão voltadas para as repercussões que podem ter sobre a saúde pública e sobre o ambiente. Os resíduos sólidos perigosos, produzidos, sobretudo pelas indústrias, são particularmente preocupantes, pois, quando incorretamente gerenciados, tornam-se uma grave ameaça ao ambiente (MONTEIRO, 2006).

#### **4.1 Resíduos Sólidos Industriais**

Os cuidados com os resíduos sólidos industriais têm fundamental importância na conservação e preservação do ambiente. O conhecimento e a aplicação da legislação ambiental, referente a este tema, tem como objetivo assegurar que o ambiente permaneça saudável e protegido de eventuais danos causados pelo homem.

##### **4.1.1 Legislação Ambiental**

As legislações ambientais, no contexto produtivo, fazem parte de uma realidade no cenário mundial. Com o aproveitamento e a comercialização de resíduos, em diversas atividades industriais, as empresas introduzem novas estratégias sobre a questão do gerenciamento desse tipo de material (SANTOS, 2006b).

Em diversos países desenvolvidos, a responsabilidade sobre os resíduos gerados é compartilhada com a indústria, o consumidor e o poder público que juntos são obrigados a dar a destinação correta ao que é descartado.

No Brasil, a definição para a questão de responsabilidade compartilhada ou solidária por algum dano ambiental está na Lei Federal que define a Política Nacional de Meio Ambiente n° 6.938, de 31 de agosto de 1981, que afirma:

Art. 3º, inciso IV: poluidor é a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental (BRASIL, 1981).

De acordo com a lei, o poluidor é obrigado a indenizar danos ambientais que causar, independentemente da culpa; no caso dos resíduos industriais, a responsabilidade civil atinge não só a indústria geradora, que é tratada como o poluidor direto, como

também quem transporta e quem dá a destinação final, os quais são considerados como responsáveis indiretos. O Ministério Público pode propor ações de responsabilidade civil por danos ao ambiente, impondo ao poluidor a obrigação de recuperar e/ou indenizar prejuízos causados. Portanto, a responsabilidade não fica exclusivamente ligada em quem diretamente causou o dano ambiental (ARAÚJO, 2001 e CASTRO, 2003 *apud* PINTO, 2004).

Neste contexto, o gerenciamento dos resíduos sólidos industriais envolve adequação à legislação ambiental, para diversas tomadas de decisões, tais como nas fases de: manuseio, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte e disposição final dos resíduos, que deverão ser fundamentadas em sua classificação ou caracterização.

Em termos de legislação, são quatro as principais diretrizes nacionais relacionadas a resíduos sólidos:

- a) Lei Federal nº 6.938/1981 – Política Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 1981);
- b) Lei Federal nº 9.605/98 e Decreto Federal nº 6.514/2008 – Lei de Crimes Ambientais (BRASIL, 1998 e 2008);
- c) Resolução CONAMA nº 313/2002 – Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais (BRASIL, 2002); e
- d) Resolução CONAMA nº 358/2005 - Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências (BRASIL, 2005).

No âmbito do estado de São Paulo, dentre as diretrizes legais para o gerenciamento de resíduos sólidos industriais, destacam-se:

- a) Lei Estadual nº 12.300/2006 – Política Estadual de Resíduos Sólidos, que define princípios e diretrizes, objetivos e instrumentos para a gestão integrada e compartilhada de resíduos sólidos no Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2006);
- b) Lei Estadual nº 997/76 e Decreto Estadual nº 8.468/76 – Prevenção e controle da poluição do meio ambiente, que define (SÃO PAULO, 1976):

Art. 52: o solo somente poderá ser utilizado para destino final de resíduos de qualquer natureza, desde que sua disposição seja feita de forma adequada, estabelecida em projetos específicos de transporte e destino final, ficando vedada a simples descarga ou depósito, seja em propriedade pública ou particular (SÃO PAULO, 1976);

Art. 53: os resíduos de qualquer natureza, portadores de patogênicos, ou de alta toxicidade, bem como inflamáveis, explosivos, radioativos e outros prejudiciais, a critério da CETESB, deverão sofrer, antes de sua disposição final no solo, tratamento e/ou condicionamento, adequados, fixados em projetos específicos, que atendam aos requisitos de proteção de meio-ambiente (SÃO PAULO, 1976).

Nos termos da Lei Estadual n° 997/1976, o gerador dos resíduos e seus sucessores é responsável pela gestão dos resíduos sólidos e, no caso do encerramento de atividades potencialmente poluidoras, faz-se necessária a aprovação pelo órgão ambiental competente de um relatório conclusivo de auditoria ambiental.

O órgão ambiental estadual em São Paulo, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), exige uma documentação especial quando da necessidade das indústrias requererem a autorização para o destino final dos seus resíduos. Esta autorização concretiza com a emissão do Certificado de Aprovação de Destinação de Resíduos Industriais (CADRI), que se faz necessário à destinação de resíduos para tratamento, incineração ou disposição em aterros. As indústrias devem prever a geração de resíduos ao longo do ano e requerer o CADRI ao órgão ambiental e, se ocorrer alteração no tipo de resíduo gerado ou em sua quantidade, ou ainda na destinação final escolhida, deverá ser solicitado outro CADRI para a nova situação (CETESB, 2008).

Para a emissão do CADRI é necessária uma avaliação detalhada do resíduo a ser destinado, por meio da classificação ou caracterização que deve abordar a investigação da presença e/ou ausência de certos contaminantes na massa bruta do resíduo, por meio de avaliações de suas propriedades físicas, químicas ou microbiológicas. A investigação desses contaminantes é baseada em legislações e normas para proporcionar a conformidade com a legislação ambiental, e também serve para indicar os tipos de tratamento a serem adotadas (CAMPOS et al., 2002).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tem uma série de normas para padronização da classificação de resíduos, sendo a revisão mais recente publicada no ano de 2004. Com base nesta classificação, pode-se definir as medidas

necessárias de gerenciamento e proteção do ambiente. Esta série de normas abrange:

- NBR 10004: Resíduos Sólidos (classificação);
- NBR 10005: Lixiviação de Resíduos (procedimento);
- NBR 10006: Solubilização de Resíduos (procedimento); e
- NBR 10007: Amostragem de Resíduos (procedimento).

A NBR 10004:2004 classifica os resíduos sólidos, segundo o potencial de risco ao ambiente e à saúde pública, caracterizando quais resíduos devem ter destinação e manuseio mais rigidamente controlados. Quanto às características, os resíduos são classificados em dois grupos – Perigosos e Não perigosos – sendo ainda este último grupo subdividido em: Não Inertes e Inertes, conforme observado no Quadro 1 (ABNT, 2004a).

<b>Classe do Resíduo</b>	<b>Tipo do Resíduo</b>	<b>Sub-classe do Resíduo</b>	<b>Definição</b>
<b>Classe I</b>	<b>Perigoso</b>	---	Resíduos que apresentam risco à saúde pública, provocando ou acentuando, de forma significativa, um aumento de mortalidade ou incidência de doenças, e/ou riscos ao meio ambiente, quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada. Estes resíduos podem apresentar uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.
		<b>IIA: Não Inerte</b>	Resíduos que não se enquadram nas classes I e IIB e podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.
<b>Classe II</b>	<b>Não perigoso</b>	<b>IIB: Inerte</b>	Quaisquer resíduos que quando amostrados de forma representativa (NBR 10007) e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme teste de solubilização não tem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água.

**Quadro 1.** Resíduo sólido – Classificação

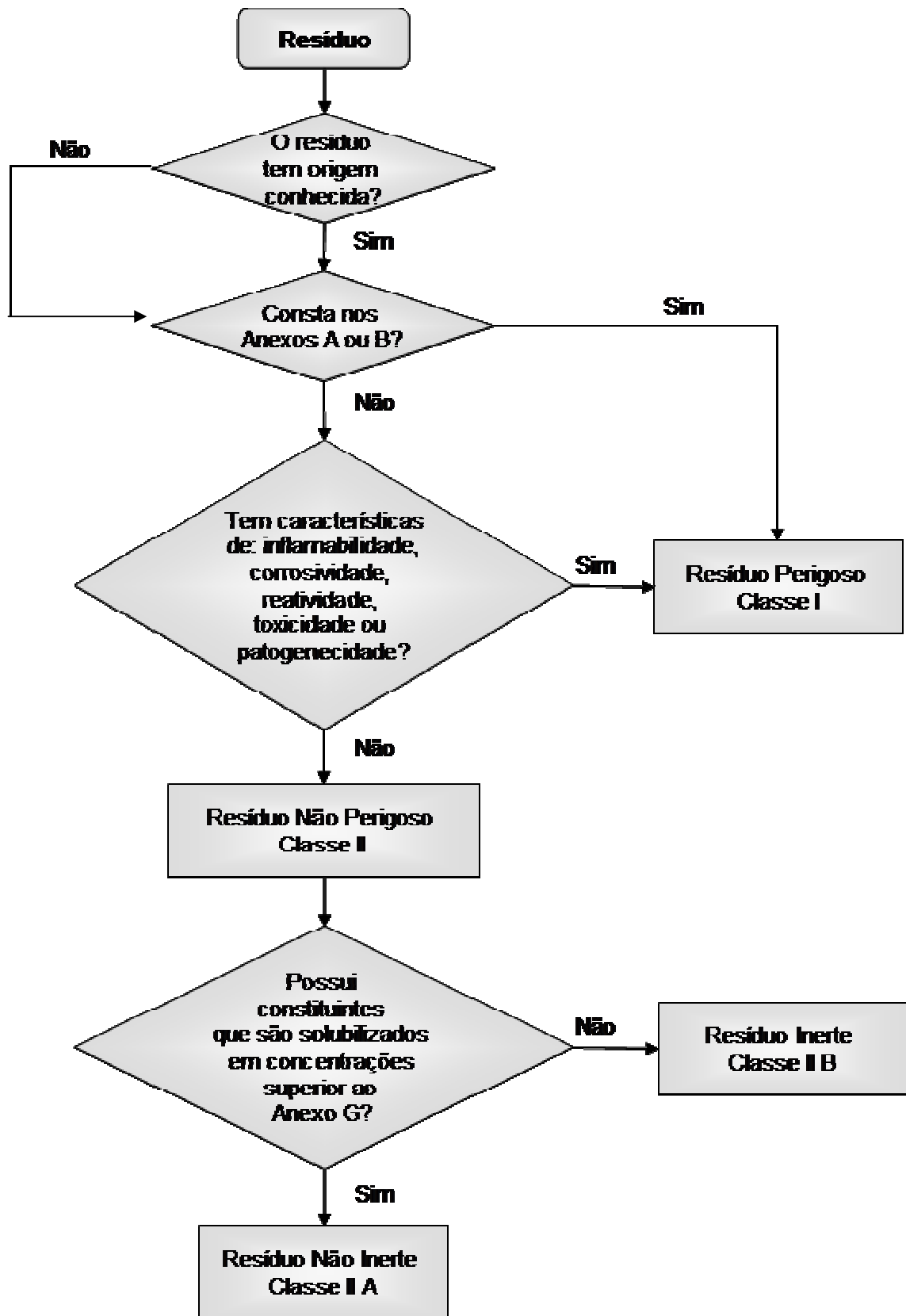
Fonte: ABNT (2004a)

A classificação dos resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características, e a comparação destes

com as listagens de resíduos e as substâncias (anexos da NBR 10004:2004) cujo impacto à saúde e ao ambiente são conhecidos (KAMINSKI, 2007).

A identificação dos constituintes de um resíduo deve ser avaliada em sua caracterização, de modo criterioso e de acordo com as matérias-primas e os insumos utilizados nos processos que lhe deu origem (PINTO, 2004).

O procedimento desta avaliação apresenta-se na Figura 1 para a caracterização e classificação de resíduos.



**Figura 1.** Fluxograma para caracterização e classificação de resíduos  
 Fonte: ABNT (2004a), adaptação do Autor.



Muitas vezes, mesmo para aqueles resíduos com origem conhecida, torna-se complexa a classificação e, nesses casos, há a necessidade de analisar outros dados indiretos ou até mesmo realizar os ensaios de lixiviação e de solubilização para definir qual o melhor tratamento para a disposição final (ROCCA et al., 1993).

A NBR 10004:2004 não é uma norma que objetiva permitir ou não a utilização de resíduos sólidos, cabendo a ela somente classificá-los como perigosos ou não perigosos, e assim servir como uma ferramenta para os setores envolvidos no gerenciamento dos resíduos sólidos (ABNT, 2007).

Há alternativas que têm se mostrado positivas, inclusive economicamente viáveis, quanto à escolha do gerenciamento do resíduo até a sua necessidade de dispor no ambiente (VALLE, 1997).

As práticas de gerenciamento de resíduos têm oferecido uma possibilidade de redução de custos de destinação associadas às suas alterações das características qualitativas e quantitativas e à obtenção de receita pela comercialização dos produtos obtidos no tratamento e/ou separação, identificando-se a oportunidade de sua valorização (ROCCA et al., 1993).

Vale lembrar que diferentemente dos resíduos urbano-industriais em que o Brasil possui legislações relativamente extensas, como já mencionado, tratando-se do aspecto de gestão, as atividades relacionadas ao manejo, tratamento e disposição, de lodo de esgoto e de alguns tipos de resíduos (bauxita, escória de alto forno, vinhaça, lodo industrial etc.), encontram-se em fase de estudo e regulamentação.

No Brasil, há uma legislação federal sobre aplicação de resíduos na agricultura. Em 2006, foi constituído um grupo de trabalho envolvendo especialistas de várias instituições, que discutiram sobre a disposição do lodo de esgoto na agricultura; deste trabalho resultaram as Resoluções CONAMA n° 375/2006 e n° 380/2006. Tais Resoluções tiveram como base para a sua elaboração a legislação do Estado de São Paulo nos termos da Norma CETESB P4230/99 sobre a aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação. Esta por sua vez foi estabelecida por técnicos e cientistas de diversas instituições paulistas, após uma criteriosa avaliação da norma USEPA CFR 40 part 503 (1995), dos Estados Unidos (BETTIOL e CAMARGO, 2006).

A Norma CETESB P4230/99 e a Resolução CONAMA n° 375/2006 estabelecem parâmetros de caracterização de lodo de esgoto e, além destes limites especificados, também define taxa máxima de aplicação anual de metais em solos

agrícolas e a carga máxima acumulada de metais pela aplicação do lodo, entre outros (CETESB, 1999 e BRASIL, 2006).

A comparação dos parâmetros relacionados para a caracterização química e microbiológica, de acordo com a Norma CETESB P4230/99 e Resolução CONAMA n° 375/2006, apresenta-se no Quadro 2.

Norma CETESB P4230/99	Resolução CONAMA n° 375/2006
Arsênio	Arsênio
---	Bário
Cádmio	Cádmio
---	Cálcio
Carbono orgânico	Carbono orgânico
Chumbo	Chumbo
Cobre	Cobre
Cromo total	Cromo
---	Enxofre
Fósforo	Fósforo
---	Magnésio
Mercúrio	Mercúrio
Molibdênio	Molibdênio
Níquel	Níquel
Nitrogênio amoniacal	Nitrogênio amoniacal
Nitrogênio nitrato/nitrito	Nitrogênio nitrato/nitrito
Nitrogênio total ou Nitrogênio Kjeldahl	Nitrogênio total ou Nitrogênio Kjeldahl
Número Mais Provável de coliformes fecais	Coliformes termotolerantes
Número Mais Provável de <i>Salmonella</i> sp.	<i>Salmonella</i> sp.
pH	pH
Potássio	Potássio
Selênio	Selênio
Sódio	Sódio
Sólidos Voláteis	Sólidos voláteis e totais
Umidade	Umidade
Zinco	Zinco
---	Ovos viáveis de helmintos
---	Vírus entéricos

**Quadro 2.** Relação dos parâmetros para caracterização química e microbiológica do lodo de esgoto, segundo Norma CETESB P4230/99 e Resolução CONAMA n° 375/2006

Fonte: CETESB, 1999 e BRASIL, 2006

Na Tabela 1 apresenta-se a relação de parâmetros estabelecidos na Norma CETESB P4230/99 e Resolução CONAMA n° 375/2006 para os limites aceitáveis de concentração de metais pesados no lodo de esgoto para uso agrícola (base seca).

**Tabela 1.** Limites aceitáveis de concentração de metais pesados no lodo de esgoto para uso agrícola (base seca), segundo Norma CETESB P4230/99 e Resolução CONAMA n° 375/2006

Metal pesado	Concentração máxima permitida no lodo (mg.kg <sup>-1</sup> )		Carga máxima acumulada de metais pela aplicação do lodo (kg.ha <sup>-1</sup> )	
	Norma CETESB P4230/99	Resolução CONAMA n° 375/2006	Norma CETESB P4230/99	Resolução CONAMA n° 375/2006
Arsênio	75	41	41	30
Bário	---	1300	---	265
Cádmio	85	39	39	4
Cobre	4300	1500	1500	137
Chumbo	840	300	300	41
Cromo	---	1000	---	154
Mercúrio	57	17	17	1,2
Molibdênio	75	50	-	13
Níquel	420	420	420	74
Selênio	100	100	100	13
Zinco	7500	2800	2800	445

Fonte: CETESB (1999) e BRASIL (2006).

Na Tabela 1 é possível observar que ao comparar ambas as legislações, os limites de concentração estabelecidos para metais pesados no lodo e acumulados pela sua aplicação, mostra que a Resolução CONAMA n° 375/2006 é mais restritiva.

Para a possível utilização de resíduos sólidos industriais na agricultura, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) tem em vigor o Decreto Federal n° 4954/2004 que dispõe sobre a utilização de resíduos em solos agrícolas, onde no artigo 16, inciso 1º descreve a necessidade de uma autorização a ser concedida para o processo de aplicação do resíduo no solo e uma licença junto ao órgão ambiental de cada estado brasileiro (BRASIL, 2004a).

## 4.2 Gerenciamento e minimização de resíduos

Com as diversas normas e leis ambientais para cumprir, o gerenciador de instalação industrial se vê obrigado a implantar programas de novos métodos que se mostrem mais vantajosos ambientalmente e economicamente, incluindo a questão de tratar os resíduos sólidos industriais gerados de modo a atender a legislação vigente.

A minimização da geração de resíduos sólidos industriais se constitui numa estratégia importante para administrar os fatores que envolvem o seu tratamento. Destacam-se como principais objetivos nesta estratégia: a prevenção da geração de resíduos com caráter perigoso e a utilização de alternativas de disposição que não incluam a destinação incorreta (ROCCA et al., 1993).

Há ainda quem defende a teoria do “resíduo zero” que pode conduzir para o aperfeiçoamento dos processos industriais, que resultará em grande minimização dos resíduos em função da redução do volume e/ou toxicidade, e conseqüentemente, a redução de sua carga poluidora (ROCCA et al., 1993 e CAMPOS et al., 2002).

Para a implantação de um programa de minimização de resíduos sólidos, pode-se aplicar duas técnicas: a **redução na fonte** e a **reciclagem**, que segundo as legislações ambientais Resolução CONAMA n° 358/2005 e a Lei Estadual n° 12300/2006, definem respectivamente as técnicas como:

Art. 2º, inciso XIV - **Redução na fonte**: “atividade que reduza ou evite a geração de resíduos na origem, no processo, ou que altere propriedades que lhe atribuam riscos, incluindo modificações no processo ou equipamentos, alteração de insumos, mudança de tecnologia ou procedimento, substituição de materiais, mudanças na prática de gerenciamento, administração interna do suprimento e aumento na eficiência dos equipamentos e dos processos” (BRASIL, 2005).

Art. 5º, inciso XIII - **Reciclagem**: “prática ou técnica na qual os resíduos podem ser usados com a necessidade de tratamento para alterar as suas características físico-químicas” (SÃO PAULO, 2006).

A estratégia escolhida para gerenciar os resíduos sólidos industriais deve ser baseada pela realização de um inventário preciso de tipos de resíduos gerados e avaliação de fatores envolvidos, tais como: o ambiente de trabalho, os procedimentos executados, a quantidade, a natureza, o nível de risco, a freqüência de geração (contínua ou esporádica), os passivos existentes, entre outros. Estes

resíduos deverão estar especificados com todas as informações adquiridas pelo inventário para garantir a eficácia de seu controle (ROCCA *et al.*, 1993).

A indústria que se predispõe a reciclar seus resíduos deve ter preocupações com o seu destino, principalmente se for reutilizado por terceiros. É importante reconhecer as implicações que o resíduo terá no novo processo a que se destina, evidenciando a geração de um novo resíduo. Quando se trata do reaproveitamento de constituintes do resíduo, deve-se conhecer o destino da parcela não aproveitada e saber a política de descarte dos resíduos da outra atividade que está o adquirindo, para que o mesmo ou partes constituintes não sejam dispostos futuramente de modo irregular (VALLE, 1997).

Em situação como esta mencionada, para a destinação de resíduos, os geradores primários de resíduos industriais são responsáveis e obrigados a cuidar do gerenciamento, transporte, tratamento e destinação final dos mesmos. Tal responsabilidade é para sempre, pois podem ocorrer problemas judiciais futuros, caso práticas inadequadas sejam estabelecidas por empresas secundárias, baseada na legislação vigente para crimes de caráter ambiental - Lei Federal nº 9.605/98 e Decreto Federal nº 6.514/2008 (BRASIL, 1998 e 2008).

Para tornar-se interessante a venda do resíduo, o determinado material de possível interesse só será recuperado se o seu preço de venda puder ser menor ou igual ao preço de mercado; ou então, se for mais barato recuperá-lo do que transportá-lo e tratá-lo ou dispô-lo adequadamente.

Para incentivar as atividades de reciclagem tem sido criado em muitos países, inclusive no Brasil, sistema de troca de informações através de uma publicação denominada "Bolsa de Resíduos", criada pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP). Os interessados em vender ou doar algum material anunciam nesta Bolsa indicando nome, composição química e quantidade do resíduo. Muitas indústrias desconhecem a existência deste mecanismo ou, por qualquer motivo, têm algum tipo de receio em anunciar seus resíduos ou, ainda, não acreditam plenamente nas informações fornecidas (FIESP, 2007).

Um dos problemas relacionados a qualquer Bolsa de Resíduos é a dificuldade de se controlar a qualidade dos materiais anunciados de modo a atender os padrões requeridos para os processamentos. Por serem gerados em processos que, via de regra, apresentam variações, quase todos têm composições diferentes, o que

dificulta o seu reaproveitamento por meio da utilização como matéria-prima (FIESP, 2007).

Na reutilização de um resíduo para a fabricação de um novo produto devem ser consultados os órgãos responsáveis pela certificação do produto, no caso os órgãos ambientais, da saúde e outros pertinentes, de modo a obter a aprovação específica para a utilização do resíduo na forma pretendida, cabendo ao interessado a comprovação da segurança do uso do material. Para o Estado de São Paulo, há a necessidade de consultar o órgão ambiental quanto à obtenção das licenças ambientais – de instalação (LI) e de operação (LO) – e o CADRI, de acordo com o Decreto Estadual nº 8468/76, não sendo dispensável uma análise rigorosa das características do resíduo a pedido de todos os órgão envolvidos.

Outra técnica empregada de minimização de resíduos é o uso de tecnologias limpas, como a prática de Produção mais Limpa (P+L) que auxiliam as empresas a identificarem pontos de melhorias em suas fases produtivas.

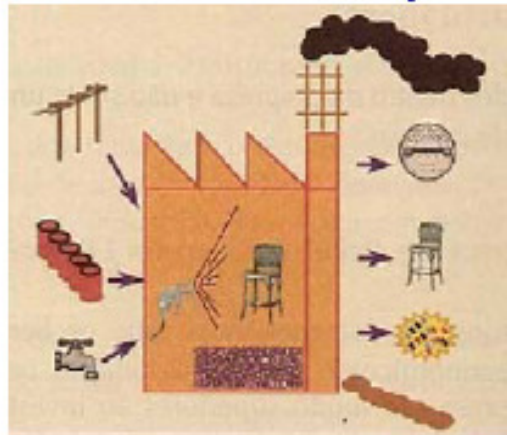
#### **4.2.1 Contexto Ambiental: Prática de Tecnologias Limpas na Indústria Química**

Há grupos de empresas receptivas à responsabilidade socioambiental e as que preferem não se adaptar à nova administração. Um dos argumentos favoráveis aos adeptos é que, assumindo esta postura, as empresas acabam ganhando melhor imagem institucional e isto pode se traduzir em mais consumo, mais vendas, melhores empregados, melhores fornecedores, mais acesso ao mercado de capitais. Em outras palavras, uma empresa que assume o compromisso de uma gestão ambiental, possui uma vantagem estratégica em relação àquela que não tem a mesma imagem perante o público (ALMEIDA e GIANNETTI, 2007).

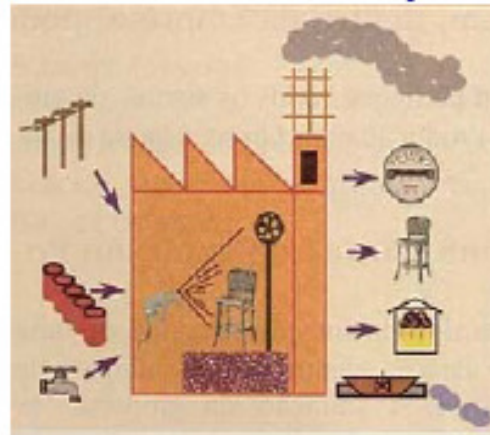
Neste histórico ambiental, ilustram-se as várias transformações pelas quais a forma de tratar materiais, energia e resíduos vem passando nas últimas décadas, e também o surgimento de novos sistemas, conceitos e controles realizados por órgãos governamentais.

Analisando o histórico do gerenciamento ambiental pode-se visualizar as tendências seguidas pela evolução das questões ambientais nas últimas décadas exercidas nas empresas, e do mesmo modo na indústria química, na Figura 2. Neste histórico ambiental, ilustram-se as várias transformações pelas quais a forma de tratar materiais, energia e resíduos vem passando nas últimas décadas, e também o sur-

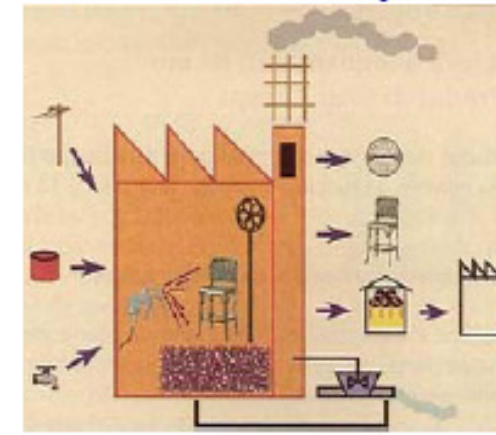
## Décadas de 50/60



## Décadas de 70/80



## Décadas de 90/atual



### Disposição

- Início do desenvolvimento de padrões de qualidade e de emissão
- Meio ambiente "livre" ou quase "livre"
- Diluição de resíduos e emissões nas águas e no ar
- Inexistência quase total de responsabilidade empresarial com seu impacto ambiental

### Tratamento

- Sistema de licenciamento e impacto ambiental
- Atitude reativa: cumprimento das normas ambientais
- Controle no final de tubo ("end-of-pipe")
- Responsabilidade empresarial isolada

### Prevenção

- Instrumentos econômicos e código voluntário de conduta
- Atitude pró-ativa: além do cumprimento das normas
- Tecnologias Limpas/Análise do Ciclo de Vida
- Integração total da responsabilidade na estrutura empresarial

**Figura 2.** Evolução das questões ambientais para o controle de poluição nas indústrias

Fonte: SENAI (2003, p.9)

gimento de novos sistemas, conceitos e controles realizados por órgãos governamentais e de pesquisas com a introdução de novas tecnologias para organizar o desenvolvimento das atividades administrativas e produtivas.

As alternativas atualmente apresentadas vêm ao encontro com o conceito de reduzir, reutilizar e reciclar – 3 R's, que somados a estes mais repensar e reeducar – 5 R's, acrescentam soluções na linha de Produção mais Limpa (P+L), sugerindo outras formas viáveis de se executar certos processos sem prejudicar o ambiente (SACHS, 2005).

Seguindo as estratégias e os conceitos, P+L significa a aplicação contínua de uma estratégia com a tecnologia integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, por meio de não geração, reuso ou reciclagem de resíduos gerados em um processo produtivo, levar também à redução da emissão de efluentes líquidos e as emissões atmosféricas, implica no aumento da produtividade e esta abordagem indica inovação nas empresas, dando um passo em direção ao desenvolvimento econômico sustentado e competitivo (SENAI, 2003).

Devido a uma intensa avaliação estratégica de P+L, a minimização de resíduos (nível 1), geralmente, induz a um processo de inovação dentro da empresa buscando soluções nos seus próprios processos produtivos, minimizando o emprego de tratamentos convencionais de fim-de-tubo, que muitas vezes não são definitivos para os resíduos gerados (SANTOS, 2006b).

Os resíduos que não podem ser evitados devem, preferencialmente, ser reintegrados ao processo de produção da empresa (nível 2). Na impossibilidade, desta medida, a reciclagem fora da empresa pode ser utilizada (nível 3). A apresentação dos níveis encontra-se na Figura 3 (SENAI, 2003).





**Figura 3.** Fluxograma da geração de opções de Produção mais Limpa (P+L)  
 Fonte: SENAI (2003, p.27)

Outra prática desenvolvida que pode ser citada para a avaliação de processos e produtos é a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). A ACV é uma ferramenta que permite avaliar processos e produtos. O objetivo é identificar as fontes diretas e indiretas de geração de resíduos e/ou poluentes associadas a um processo ou produto. A análise do produto deve ser sempre acompanhada da análise do processo para que, sob a visão das interações dos processos com o ambiente, possam ser compreendidas tanto em sua dimensão espacial como temporal (ALMEIDA e GIANNETTI, 2007).

O conhecimento de tecnologias limpas para o ambiente e estratégias para prevenir e minimizar o dano ambiental causado pelos processos químicos, tem ganho considerável importância, em especial quanto ao custo real da operação de um processo químico que descarta muitos poluentes no ambiente. Tanto o custo econômico como o custo ambiental, isto significa não somente considerar o custo de

tratamento ou o custo relativo ao atendimento da legislação vigente, mas também o custo dos recursos da natureza utilizados na produção e o trabalho da natureza para a absorção/degradação dos resíduos (SENAI, 2003).

As principais estratégias para minimizar os impactos ambientais, se bem implementadas, oferecem a oportunidade de projetar e analisar os processos visando a eliminação dos poluentes e o uso de matérias-primas renováveis. Com estes cuidados os processos químicos tendem a ser bem sucedidos e a manter em operação a sua planta industrial por muitos anos para a fabricação de seus produtos (ALMEIDA e GIANNETTI, 2007).

#### **4.3 Tratamentos e disposição final de resíduos sólidos industriais**

De acordo com a transformação empregada nos resíduos sólidos, os tratamentos podem ser classificados como físico, químico e biológico, ou mesmo existir processos de tratamento que utilizam mais de uma forma de transformação. Os tratamentos de resíduos consistem em transformá-los, de algum modo, em materiais menos perigosos ou volumosos (BRAGA et al., 2005).

Basicamente, o que se pretende é que não sejam toleradas futuras descargas de resíduos brutos. O resíduo final que é encaminhado para a disposição, é um resíduo que resulta ou não de tratamento de outros resíduos e que não seja susceptível de tratamento nas condições técnicas e econômicas do momento. Um resíduo final, hoje, pode não sê-lo em um futuro próximo, pois a tecnologia poderá ter um processo mais evoluído a ponto de ser possível extrair de determinado resíduo algo valorizado, ou mesmo reduzir o seu caráter poluente (CAMPOS, 1999).

Mesmo com a existência de diversos artifícios técnicos e legais existentes para evitar e/ou minimizar os impactos dos resíduos, verifica-se um potencial crescente de risco de contaminação, pois o descarte de resíduos sólidos industriais executado de modo clandestino ainda acontece com grande frequência. Significativas quantidades de resíduos são lançadas em terrenos abandonados, córregos, ribeirões, margens de rodovias e encostas de morros (VALLE, 1997).

No Brasil, o enquadramento dos resíduos sólidos em Classe I (perigoso), Classe IIA (não-perigoso, não-inerte) e Classe IIB (não perigoso, inerte), segundo NBR 10004/2004, é o que determinará o gerenciamento adequado, incluindo a sua destinação, sendo que a grande maioria dos resíduos sólidos de Classe I, deve ser

disposta em aterros industriais especiais ou incinerados. No entanto, independentemente desta exigência, a destinação final sempre deve ser feita conforme normas e procedimentos exigidos pelo órgão estadual de proteção ambiental, sendo possível ainda o encaminhamento para outras formas de disposição final como: co-processamento, compostagem, aterros industriais controlados, reciclagem etc..

#### **4.4 Disposição de resíduos sólidos no solo**

A aplicação de diferentes tipos de resíduos na agricultura é uma prática que está sendo utilizada tanto para benefício do solo, como para destino de grandes quantidades de rejeitos. Para a avaliação do impacto ambiental desta prática, é preciso conhecer os níveis aceitáveis dos elementos e compostos no solo, utilizar protocolos de análises apropriados para a caracterização química do solo e dos resíduos e também definir as culturas que poderão receber os resíduos estudados.

##### **4.4.1 A importância dos elementos químicos essenciais no solo**

O solo é definido como um material mineral e/ou orgânico, não-consolidado na superfície da terra, sendo um meio natural para o crescimento e o desenvolvimento das plantas. A formação do solo é influenciada por fatores genéticos e ambientais do material de origem, pelo clima (temperatura e umidade) e pela ação de microrganismos e de macrorganismos, além da topografia, que resulta em diferentes tipos de solos, em função de suas propriedades e características físicas, químicas, mineralógicas, biológicas e morfológicas (CURI et al., 1993).

As ações desses micro e macrorganismos são extremamente importantes na decomposição da matéria orgânica dos solos: essa matéria passa por uma sequência de eventos biológicos e é transformada em compostos que ficarão no solo por determinado tempo. Tais compostos contêm nutrientes, elementos químicos essenciais para o desenvolvimento das plantas, que são classificados como macronutrientes e micronutrientes e a fertilidade do solo está relacionada à quantidade desses nutrientes (MALAVOLTA, 1976).

O Quadro 3 apresenta os elementos essenciais indicando os macronutrientes e micronutrientes necessários para a fertilidade do solo e o crescimento das plantas.

<b>Grupo de elementos essenciais</b>	<b>Tipo de nutriente</b>	<b>Elementos químicos</b>	<b>Fonte de origem</b>
Não-minerais	Macronutrientes	carbono, hidrogênio e oxigênio	Água e atmosfera
Minerais	Macronutrientes	nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre	Ar e solo
	Micronutrientes	boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, níquel e zinco	Solo

**Quadro 3.** Macronutrientes e micronutrientes essenciais para fertilidade do solo e crescimento de plantas

Fonte: Adaptação do autor (ABREU e ANDRADE, 2006).

Além dos elementos essenciais indicados no Quadro 3, outro elemento químico é considerado benéfico para algumas espécies vegetais, por exemplo, silício (Si) que se encontra acumulado em culturas de arroz e cana de açúcar onde é responsável pelo melhor aproveitamento de água e conseqüentemente aumento do processo de fotossíntese e produtividade (SANTOS, 2006b).

Os três nutrientes que as plantas necessitam em maior quantidade são os macronutrientes primários: o nitrogênio, o potássio e o fósforo. O primeiro é extraído da atmosfera submetido a reações químicas que produz o nitrato de amônia ou a uréia, compostos amplamente usados para fornecimento de nitrogênio na agricultura. Fósforo e potássio, por sua vez, são obtidos de fontes minerais (CRQ, 2006).

#### 4.4 Potássio

O elemento potássio, um dos dez mais abundantes na crosta terrestre, ocorre na natureza somente sob a forma de compostos como cloretos e sulfatos, que são considerados de interesse econômico devido, principalmente, ao seu conteúdo ser de fácil solubilização (NASCIMENTO, MONTE e LOUREIRO, 2005).

A silvita (KCl) e a carnalita ( $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) são largamente processados como minerais de potássio. A silvita é o mineral industrial com a maior percentagem de potássio, cerca de 52,5%, constituído ainda minério típico de potássio, numa mistura

de silvita (KCl) e halita (NaCl) que se designa por silvinita (NASCIMENTO, MONTE e LOUREIRO, 2005).

Os maiores produtores mundiais de cloreto de potássio e de sulfato de potássio são Canadá, Rússia, Alemanha, Israel, Jordânia e Estados Unidos. Mais de 95% da produção mundial de potássio é utilizada como fertilizante, mas existem também várias aplicações industriais: na produção de vidros especiais, sabões, explosivos, produtos químicos e produtos farmacêuticos (NASCIMENTO, MONTE e LOUREIRO, 2005).

Na América do Sul, somente no Brasil há um depósito de potássio com mina em operação chamado de Taquari-Vassouras, localizado no município de Rosário do Catete, às margens da rodovia federal BR-101, a nordeste do estado de Sergipe, distante 45 km de Aracaju que, em 2002, atendeu apenas a cerca de 10% das necessidades do país em sais de potássio. As reservas de potássio, em Sergipe, totalizam cerca de 504 milhões de toneladas de silvinita e 12,9 bilhões de toneladas de carnalita, cujos teores são de aproximadamente 9,7 e 8,3% de  $K_2O$  contido, respectivamente (DNPM, 2003 *apud* NASCIMENTO, MONTE e LOUREIRO, 2005).

Os principais minerais potássicos e seus valores aproximados de teores equivalentes apresentam-se na Tabela 2:

**Tabela 2.** Principais minerais de potássio e seus teores equivalentes de  $K_2O$  e K, em peso (%)

Mineral	Fórmula	Teor de $K_2O$ (%)	Teor de K (%)
Silvita	KCl	63,17	52,44
Silvinita	KCl + NaCl	10 - 35	---
Carnalita	KCl.MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	16,95	14,07

Fonte: HARBEN, 1995 *apud* NASCIMENTO, MONTE e LOUREIRO, 2005.

#### 4.5 Aplicação de resíduos na agricultura

A aplicação de resíduos na agricultura é uma forma mundialmente executada para a destinação e disposição final, considerada como uma alternativa viável sob o ponto de vista agrícola. A principal vantagem do uso de resíduos na agricultura relaciona-se com os teores de fornecimento de macro e micronutrientes contidos e/ou com benefícios ligados ao seu conteúdo, inserindo-os nas plantações para o

desenvolvimento de mudas, promoção do crescimento de organismos, melhora no nível de fertilidade e aumento da capacidade de troca de cátions no solo, para fornecer os nutrientes para as plantas; com esta prática o resultado final é um reflexo positivo para as diminuições de disposição em aterros, da necessidade de queima em incineradores dos resíduos e da diminuição da extração de minérios (EMBRAPA MEIO AMBIENTE, 2006 e TRIGUEIRO, 2002).

Há um direcionamento de diversos tipos de resíduos para aplicação na agricultura com o intuito de minimizar a aplicação de fertilizantes e corretivos ou mesmo substituir algum insumo; tem-se, como exemplos, resíduos cujos estudos estão em andamento ou que já estão sendo utilizados na agricultura.

#### **Lama vermelha:**

Em estudo tem-se abordado a lama vermelha (resíduo do processo de bauxita) como alternativas de aplicação para o melhoramento de solos ácidos, como forma de neutralizar a terra para fins agrícolas. Mas para encontrar uma utilização segura e eficiente da lama vermelha, sem trazer danos ao meio ambiente e ao homem, têm deparado com questões de inviabilidade econômica, geralmente desfavorável devido ao pequeno consumo de resíduo considerado nestas aplicações, face ao grande volume gerado a ser processado (JAMIESON, COOLING e FU, 2005 *apud* MELCARNE, 2007).

Com o granulado fino do resíduo de bauxita (com partículas de tamanho nominal menor de 100 $\mu$ ), a propriedade de elevar o pH no solo ácido retém nutrientes como o fósforo (reduz a perda de nutrientes em até 50%), diminuindo, assim, a necessidade de quantidade de nitrogênio, permitindo com isso reduzir o uso de fertilizantes e, conseqüentemente, decrescendo substancialmente a taxa de lixiviação do fósforo no solo e protegendo os cursos d'água (PARANGURU, RATH e MISRA, 2005 *apud* MELCARNE, 2007).

Apesar ser aprovado o uso da lama vermelha, na Austrália, pelas autoridades do Departamento de Proteção Ambiental, o Departamento de Agricultura desse país limitou o seu uso em larga escala em terras de agricultura para controle de nutrientes, determinando um contínuo e detalhado monitoramento do controle de qualidade das águas locais onde o resíduo é aplicado. Este mesmo tipo de pesquisa está sendo feito nos Estados Unidos e no Brasil (com a participação da EMBRAPA), como uma extensão do estudo efetuado na Austrália, avaliando o potencial de utilização do resíduo de bauxita para controle de nutrientes e rastreamento de

metais na agricultura. Em adição à estabilização de nutrientes solúveis, é esperado que uma combinação de resíduo de bauxita e materiais de compostagem possa também ser usada para aumentar o teor de carbono no solo (promovendo um efetivo meio de sequestro de carbono) e reduzindo a aplicação de pesticidas (PARANGURU, RATH e MISRA, 2005 *apud* MELCARNE, 2007).

### **Resíduos de estações de tratamento de esgoto:**

Os rejeitos com características orgânicas, tais como os resíduos produzidos nas estações de tratamento de esgotos (ETE), são utilizados em diversos países, como nos Estados Unidos, na Inglaterra, na Austrália e no Japão, como condicionadores de solos agrícolas. O lodo processado, proveniente das ETE's é recomendado para a sua aplicação como condicionador de solo e ou fertilizante (TRIGUEIRO, 2002).

O termo "*biosolids*" foi criado nos Estados Unidos no final dos anos 1980, com a finalidade de evitar o preconceito da população e estimular os agricultores a usar o lodo de esgoto tratado. O uso agrícola é uma forma mundialmente aceita para destinação final dos lodos, pois apresenta em sua constituição teores elevados de matéria orgânica, macronutrientes (nitrogênio e fósforo) e micronutrientes (zinco, cobre, ferro, manganês e molibdênio) para o pleno desenvolvimento de plantas (BETTIOL e CAMARGO, 2006).

Além disso, o lodo promove melhora o nível de fertilidade e aumenta a capacidade de troca de cátions no solo, além de fornecer nutrientes para as plantas. Os lodos de esgotos costumam ser pobres em potássio; com isso há a necessidade de se adicionar esse elemento ao solo na forma de adubos minerais. Pode-se dizer que, normalmente, o lodo de esgoto leva ao solo as quantidades de nutrientes suficientes para as culturas, porém nem sempre de maneira equilibrada e em formas disponíveis para as plantas em curto prazo. O interesse pela aplicação do lodo na agricultura vem aumentando principalmente, pelo baixo custo desta prática (BETTIOL e CAMARGO, 2006).

Normalmente, o lodo de esgoto estritamente doméstico possui uma quantidade baixa em metais pesados potencialmente tóxicos, mas quando esgotos industriais e águas de chuva entram no sistema de captação do esgoto urbano, este pode ter sua concentração de metais pesados significativamente aumentada. Nesse sentido, deve-se conhecer a composição química dos lodos, bem como a dinâmica dos nutrientes após a aplicação no solo, de forma a obter os benefícios agrônômicos, evitando os impactos ambientais negativos (BETTIOL e CAMARGO, 2006).

**Resíduo do Setor Sucroalcooleiro (Vinhaça):**

A vinhaça, resíduo gerado no processo de obtenção do álcool, retirada a uma proporção aproximada de 13 litros para cada litro de álcool produzido, é constituída principalmente de água, sais sólidos em suspensão e solúveis, apresenta pH entre 4,0 e 4,5, tem um poder poluente cerca de cem vezes maior do que o do esgoto doméstico; constitui um dos mais volumosos resíduos da agroindústria, sendo superado apenas pelo bagaço da cana (GONÇALVES, 2008).

O constituinte principal da vinhaça é a matéria orgânica, basicamente sob a forma de ácidos orgânicos e, em menor quantidade, por cátions como o K, Ca e Mg, sendo que sua riqueza nutricional está ligada à origem do mosto. Dos efluentes líquidos da indústria sucroalcooleira, a vinhaça é a que possui maior carga poluidora, apresentando DBO variando de 20000 a 35000 mg/L, e sai dos aparelhos de destilação a uma temperatura de 85 a 90°C. Por se tratar de um dos resíduos poluidores mais ácidos e corrosivos existentes, que resiste a qualquer tipo de tratamento dos usualmente empregados para outros resíduos industriais, dadas suas características químicas, a busca por uma destinação adequada representou um dos maiores desafios para o setor (GONÇALVES, 2008).

Até a descoberta de seu potencial como fertilizante do solo, em meados de 1980, este resíduo era comumente descartado em rios ou áreas de sacrifício, provocando grande poluição e mortandade de peixes, além do incômodo às populações vizinhas provocado pelo mau cheiro característico deste resíduo. Quando utilizada adequadamente, a vinhaça se transforma em um poderoso adubo orgânico (GONÇALVES, 2008).

Buscando dar mais especificidade por meio de legislação, em abril de 2005 a CETESB publicou uma portaria, que foi revisada em dezembro de 2006, a Norma CETESB P4231 – Vinhaça: critérios e procedimentos para o armazenamento, transporte e aplicação de vinhaça no solo, do estado de São Paulo, que define a sua aplicação em função do teor de K, a sua concentração presente no solo e necessidade da variedade de cana (CETESB, 2006).

**Outros resíduos:**

Há outros resíduos com avaliação para dispor ou não na agricultura. Os exemplos de pesquisas encontrados apresentam-se no Quadro 4.



<b>Resíduo</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Origem do resíduo</b>	<b>Método de avaliação</b>	<b>Nutriente de interesse</b>	<b>Solo</b>	<b>Cultivo</b>	<b>Resultado</b>
<b>Sementes de goiabas</b>	Avaliar o efeito da aplicação do resíduo da indústria processadora de goiabas na fertilidade do solo (MANTOVANI, 2004)	Despolpamento e lavagem com água clorada	Casa de vegetação	N, P e K	Latossolo vermelho (LV)	Milho	Aumento nos teores de P e K do solo e fornecimento lento de N e P para as plantas.
<b>Escória de alto forno</b>	Avaliar os efeitos de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade do arroz de terras altas irrigado por aspersão (PUPATTO, J.G.C. et al., 2003)	Siderurgia	Casa de vegetação	Si, Ca e Mg, e outros metais.	Latossolo vermelho-escuro (LVE)	Arroz	Melhora na condição química do solo, aumento no crescimento e na superfície radicular, diminuição do diâmetro das raízes e elevação dos teores de silício no solo e na planta.
<b>Pó de forno de aciaria elétrica</b>	Avaliar o efeito da aplicação do pó na microbiota de solos e sua potencialidade no fornecimento de micronutrientes à soja (MELLONI et al., 2001).	Siderurgia	Casa de vegetação	Zn	Latossolo vermelho-amarelo (LVA) e Latossolo vermelho (LV)	Soja	Respostas diferentes nos solos aplicados quanto a sensibilidade ao efeito do resíduo e apresentação de potencial de utilização do resíduo como fonte de Zn para o cultivo de soja para os tipos de solos escolhidos para a pesquisa.

**Quadro 4.** Exemplos de resíduos pesquisados para disposição na agricultura

(continua)

Fonte: Adaptação do autor (2008)

(continuação)

<b>Resíduo</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Origem do resíduo</b>	<b>Método de avaliação</b>	<b>Nutriente de interesse</b>	<b>Solo</b>	<b>Cultivo</b>	<b>Resultado</b>
<b>Lodo de fosfatização de pistões</b>	Avaliar a possibilidade de reaproveitamento do lodo de fosfatização gerado a partir do processo industrial de fosfatização de pistões (ALTAFIN et al., 2003).	Fosfatização de pistões	Casa de vegetação	Dado não encontrado	Dado não encontrado	Mirindiba-rosa, Paineira e Aroeira-pimenta	Há potencial para utilização em cultivos protegidos (controle da presença de metais pesados), mas se faz necessário mais estudos para dimensionar a dosagem adequada desse resíduo para ser utilizado como fonte de nutrientes para espécies nativas. O desempenho da espécie nativa aroeira-pimenteira foi superior ao das demais espécies analisadas, em todas as condições testadas neste estudo.

**Quadro 4.** Exemplos de resíduos pesquisados para disposição na agricultura

Fonte: Adaptação do autor (2008)

(continua)

(continuação)

Resíduo	Objetivo	Origem do resíduo	Método de avaliação	Nutriente de interesse	Solo	Cultivo	Resultado
<b>Lodo de curtume</b>	Avaliar a utilização do lodo de curtume em áreas agrícolas como alternativa de disposição e reciclagem do resíduo (MARTINES, 2005)	Efluente da produção de couro	Casa de vegetação	N, Na e Cr	Nitossolo-vermelho (NV), latossolo vermelho-amarelo (LVA) e neossolo quartazarênico (RQ)	Soja	O lodo de curtume que for de origem da mistura do lodo do caleiro mais lodo primário da estação de tratamento de efluente, pode ser reciclado em solos agrícolas. O cálculo da dose aplicada de levar em consideração as características do solo e os teores de Na e Cr presentes no lodo de curtume. O lodo mostrou ser útil para a correção da acidez do solo. Dependendo da quantidade de lodo de curtume aplicado no cultivo pode causar impacto negativo no desenvolvimento da planta e impedir o crescimento. Deve-se proceder na aplicação do lodo de curtume seguindo as legislações ambientais para não potencializar a fonte de poluição por Na e Cr.

**Quadro 4.** Exemplos de resíduos pesquisados para disposição na agricultura

Fonte: Adaptação do autor (2008)

Para decidir um destino e disposição final, vale destacar que o resíduo de qualquer espécie ou natureza precisa ser muito bem analisado, com a realização de análises químicas, ensaios de laboratório, estudos em casa de vegetação e ensaios de campo, ou seja, devem ser utilizados todos os meios disponíveis para estudar a viabilidade de aplicação.

A concentração, o tipo e o eventual destino dos compostos existentes nos resíduos sólidos industriais, quando dispostos no ambiente, e, principalmente, na presença de água, estão condicionados diretamente a processos físico-químicos e biológicos. Estes processos podem agir nos resíduos de modo a atenuar ou intensificar o impacto ambiental causado pela disposição (VALLE, 1997).

Embora a utilização de alguns resíduos sólidos industriais na agricultura tragam um benefício devido à valorização dos nutrientes disponíveis, deve-se estudar a viabilidade de aplicar determinado resíduo no solo, considerando as suas características de origem, pois há uma série de regras de proteção ao meio ambiente que devem ser respeitadas; deve haver um planejamento adequado tal que não sejam gerados impactos prejudiciais não só no ambiente, mas também sociais e econômicos.

No final da década de 1980, algumas empresas de micronutrientes, na sua maioria associadas à Associação Nacional dos Difusores de Adubos (ANDA), objetivando diminuir os custos de aquisição de matérias-primas, passaram a utilizar resíduos industriais, inclusive os considerados perigosos, na busca de elementos essenciais para as plantas, primordialmente zinco e manganês, em substituição aos minérios encontrados na natureza, sem se preocupar com a presença de outros elementos químicos inorgânicos e orgânicos, os quais não estão envolvidos diretamente no metabolismo das plantas e considerados tóxicos, como por exemplo: arsênio, mercúrio, chumbo, cádmio, cromo e organoclorados (SANTOS, 2006a).

Nesta época, o órgão ambiental do Estado de São Paulo – CETESB encontrou nos resultados das amostragens de chaminés das unidades de granulação das indústrias de fertilizantes, em Cubatão/SP, que as emissões de materiais particulados apresentavam altas concentrações de metais pesados tóxicos incompatíveis com as concentrações encontradas nas matérias-primas utilizadas por essas empresas na formulação de seus fertilizantes. Estes resultados indicavam que tinham dado origem a operação de mistura de fertilizantes NPK, conhecidos como macronutrientes, contaminados com elementos tóxicos aos seus produtos finais,

tendo como resultado final da aplicação deste produto o acúmulo de elementos perigosos no solo agriculturável, águas superficiais e subterrâneas, sedimentos e alimentos, tornando-se um perigo ao meio ambiente, aos trabalhadores e à saúde pública (SANTOS, 2006a).

Durante a produção de micronutrientes nestas indústrias de fertilizantes, a incorporação do resíduo era feita de forma aleatória, grotesca, misturando-se contaminantes perigosos, com concentrações elevadas de metais pesados, com resíduos inertes ou terras utilizadas em jardim, até se obter uma diluição que reduzisse essa concentração inicial do resíduo a valores mínimos. Ocorre que nem mesmo essas diluições eram feitas de forma controlada, pois os resíduos não apresentaram uma regularidade nas concentrações desses elementos e, sem seguir qualquer critério, essas operações conferem concentrações elevadas de elementos tóxicos no produto com micronutrientes (SANTOS, 2006a).

## 5 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO: processo de purificação de concentrado de minério de Cloreto de Potássio (KCl)

### 5.1 Apresentação

A indústria química, deste estudo de caso, é uma empresa que industrializa e comercializa produtos químicos de grau farmacêutico, cosmético, alimentício e reagente analítico em geral, e a listagem dos seus produtos baseia-se, em sua maioria, em compostos químicos de características inorgânicas.

A empresa possui implementado o Sistema de Gestão Ambiental, com base na norma NBR ISO 14001:2004, e adota algumas práticas de P+L, usando ferramentas como: Análise do Ciclo de Vida (ACV) e Gerenciamento de Resíduos Sólidos. As ferramentas têm como o objetivo possibilitar a redução do consumo de matérias-primas, água e energia, minimizar a geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e até aumentar sua produtividade, obtendo não apenas a adequação ambiental, mas também a redução de custos de produção, entre outros possíveis benefícios a curto e longo prazo.

### 5.2 Caracterização da empresa

**Setor:** Indústria Química (Farmoquímica)

**Localização:** Região do Grande ABCD - Diadema/SP

**Produtos e serviços principais:** Industrialização e Comercialização de Produtos Químicos e Reagente Analíticos

**Público alvo:** Indústrias químicas, farmacêuticas, alimentícias; hemodiálise; farmácias de manipulação; instituições de ensino e pesquisa etc..

**Capacidade produtiva:** aproximadamente 700 t/mês (planta multi-propósito)

**Produção (KCl):** aproximadamente 1350 t/ano

**Matéria-prima (concentrado de minério KCl):** aproximadamente 1555 t/ano

**Resíduo Sólido Industrial (Borra de filtração - KCl):** aproximadamente 55 t/ano

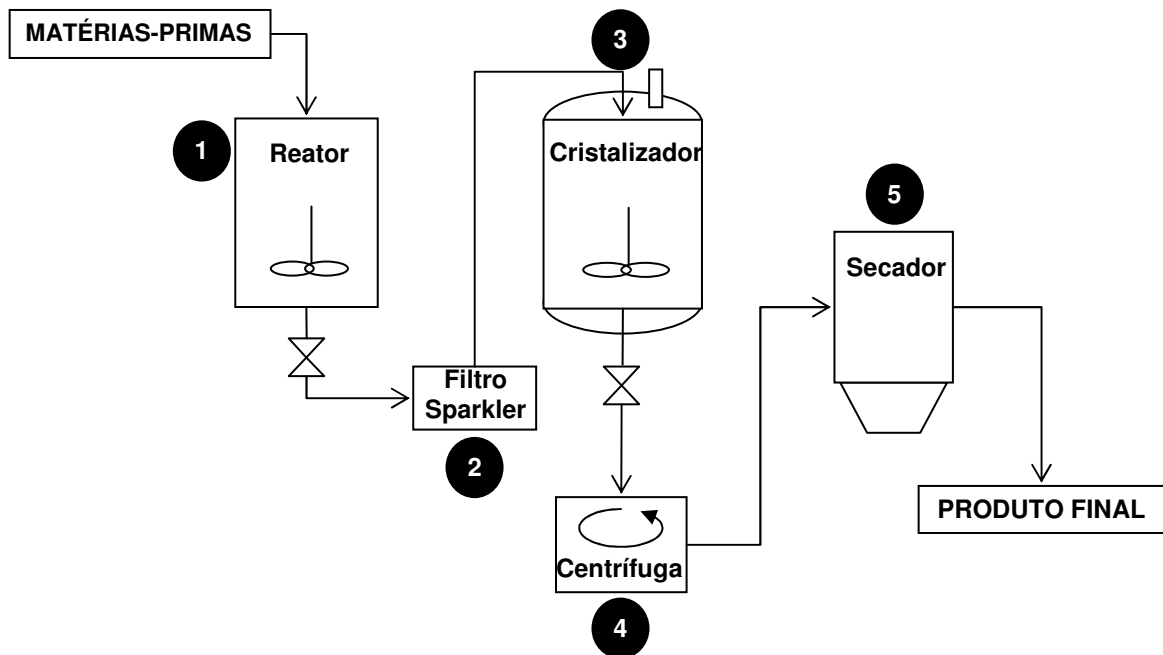
### **5.3 Processo Industrial – Purificação de concentrado de minério de Cloreto de Potássio (KCl)**

Os dados desta indústria apontam que o maior volume de produção é oriundo dos produtos com base na purificação do concentrado de minério de cloreto de potássio (KCl), sendo representado por aproximadamente 16% da produção geral. Para o resíduo sólido industrial gera-se aproximadamente 4% de resíduo por processo (batelada). Utilizam-se como matérias-primas na produção: concentrado de minério de cloreto de potássio (origem: silvinita), água desmineralizada, carvão ativado, silicato alumínio e sódio e dióxido de silício (diatomita).

O processo geral para a purificação deste concentrado de minério consiste em etapas onde os passos percorridos são:

- recebimento da matéria-prima e outros insumos;
- análise de controle de qualidade da matéria-prima;
- programação da produção;
- separação de todos os recursos materiais (embalagens, rótulos, equipamentos de segurança etc.);
- preparação dos equipamentos;
- controle das etapas de realização do produto;
- análise de controle de qualidade durante a purificação do KCl;
- finalização do processo; e
- embalagem do produto final.

A efetiva purificação do concentrado de minério de KCl consiste no processo industrial, cujo o fluxo apresenta-se conforme a Figura 4.



**Figura 4.** Fluxo do processo de purificação do concentrado de minério de cloreto de potássio (KCL)

Fonte: O Autor (2006)

A descrição de cada etapa do processo industrial segue por:

1. **Reator:** ocorre o processo de aquecimento (90 a 100°C) e mistura de todas as matérias-primas em reator químico, com forma de um tanque, que proporciona reação descontínua, onde durante o processo, nenhum material é introduzido ou removido do reator. Para o controle desta etapa há a necessidade de verificar a temperatura e a pressão. O reator químico empregado possui agitação (misturador rotatório) e dispositivos para transferência de calor (exemplo: camisa de circulação, trocadores de calor, externos e internos) e é usado principalmente para produção em pequena escala (neste caso, para o processo em batelada).
2. **Filtro Sparkler:** ocorre o processo de separação de partículas sólidas usando equipamento específico de filtração (filtro sparkler – Fotografia 1). O princípio para este processo de filtração é simples, pois consiste na separação de um sólido de um líquido no qual está suspenso, através da passagem de um líquido por um meio poroso, com poros pequenos para permitirem a passagem de partículas sólidas maiores. Os meios filtrantes utilizados no equipamento são papéis porosos intercalados por placas de



polietileno. O tamanho dos poros freqüentemente é um pouco maior que o diâmetro médio das partículas a serem separadas. Se não fosse assim, cada um dos poros tenderia a ficar bloqueado por uma única partícula e a resistência hidráulica do meio aumentaria rapidamente. Entretanto, com poros maiores, a filtração inicialmente seria um pouco ineficiente, porém os poros seriam bloqueados por conjuntos soltos de duas ou três partículas que permitiriam a fácil passagem do líquido. Assim, após um período inicial, a filtração é efetuada pelo próprio resíduo ou crosta de filtragem (situação da Fotografia 3). Devido ao grande tamanho dos poros a resistência hidráulica do meio filtrante normalmente é pequena comparada à do resíduo, e assim a natureza do meio filtrante tem efeito secundário na velocidade de filtração, exceto nos estágios iniciais. A velocidade e a eficiência da filtração podem ser melhoradas pela utilização de coadjuvantes de filtração. Esses coadjuvantes envolvem o conceito de adsorção, o contato de uma fase fluida livre com uma fase rígida e permanente, granulada, que tem a propriedade de reter na superfície interna dos poros uma combinação seletiva entre o sólido e o soluto. Os coadjuvantes são adsorventes de substâncias naturais ou sintéticas, com estrutura microcristalina. Em geral as forças atrativas são mais fracas e menos específicas que as de uma ligação química. Por isso a adsorção tem usualmente uma ação seletiva mais pronunciada na camada monomolecular próxima à superfície sólida; às vezes a seletividade pode manifestar-se até uma altura de três a quatro moléculas. Este efeito de combinação é identificado como adsorção física. A quantidade de soluto adsorvida por um sólido tende a aumentar com a concentração de soluto na fase fluida. Os adsorventes que se usam em grande escala incluem o carvão ativado, a sílica gel, a alumina ativada, diatomita e diversas argilas. Os coadjuvantes podem ser adicionados ao processo, antes da filtração, caso em que também terá o efeito da alteração da porosidade e da resistência hidráulica da crosta, ou uma suspensão do coadjuvante pode ser passada pelo filtro antes da filtração da pasta. Isso significa nada mais que a formação do meio filtrante completo *in situ*. Geralmente ocorre que na filtração do produto a determinada pasta formada contém partículas muito finas. As partículas finas penetram no coadjuvante, aumentando

assim grandemente a resistência hidráulica. Esta é a etapa mais importante do processo, para que o produto final atenda à expectativa de qualidade exigida pelos seus clientes, pois nela realiza-se a remoção de impurezas das matérias-primas com a retenção de partículas finas no coadjuvante. Na finalização desta etapa há a geração de um subproduto, chamado de “borra de filtração” (Fotografias 4 e 5), que apresenta característica física (sólida) e característica química (presença de substâncias utilizadas como matéria-prima no início do processo). A filtração realizada caracteriza-se por ser intermitente, uma das formas mais simples e mais comuns; é um processo que pode ainda ser detalhado pelas seguintes sub-etapas: a mistura de matérias-primas é filtrada através do meio filtrante; o subproduto de filtração é lavado (se necessário, com água comum – Fotografia 6); o excesso de líquido é expelido através de jatos de ar (se necessário) e o filtro é desmontado, esvaziado, limpo e remontado. A resistência do resíduo inicialmente é zero, mas aumenta com o tempo. É comum operar um processo de filtração numa vazão constante até que a queda de pressão atinja um valor predeterminado e daí em diante é efetuada por meio de pressão constante (BLACKADDER e NEDDERMAN, 1982). O filtro industrial (filtro sparkler) é um filtro de pressão. Durante o ciclo de operação deste filtro descontínuo o fluxo de líquido passa através do equipamento como contínuo, mas deve interromper periodicamente para permitir a descarga dos sólidos acumulados. O filtro é do tipo cartucho, usado principalmente para separar pequenas quantidades de sólido de um fluído. O cartucho filtrante é uma série de discos delgados de polietileno com diâmetro de 50 cm, colocados verticalmente e deixados espaços muito estreitos e uniformes entre eles com papel poroso (Fotografia 2). Os discos se dispõem sobre um eixo vertical oco e se introduz uma carcaça cilíndrica fechada. O líquido entra na carcaça com pressão, flui por entre os discos até umas aberturas situadas sobre o eixo central e sai pela parte inferior da carcaça. Os sólidos são retidos entre os discos e permanecem no filtro (MCCABE e SMITH, 1991).



**Fotografia 1.** Modelo do filtro sparkler utilizado na purificação do concentrado de minério de cloreto de potássio  
Fonte: O autor (2006)



**Fotografia 2.** Filtro sparkler: montagem das placas de polietileno intercaladas com papéis porosos  
Fonte: O autor (2006)



**Fotografia 3.** Filtro sparkler: visualização da borra de filtração retida entre as placas de polietileno e os papéis porosos  
Fonte: O autor (2006)



**Fotografia 4.** Borra de filtração retida nas placas de polietileno do filtro sparkler  
Fonte: O autor (2006)



**Fotografia 5.** Borra de filtração do concentrado de minério de cloreto de potássio  
Fonte: O autor (2006)



**Fotografia 6.** Saída de água de lavagem do filtro sparkler  
Fonte: O autor (2006)

- 3. Cristalizador:** ocorre o processo de separação de uma mistura de sólidos solúveis por dissolução, num meio adequado, seguido da diminuição lenta de temperatura. A cristalização é uma operação industrial necessária devido a um grande número de produtos se apresentarem no mercado em forma de cristais. Sua ampla aplicação se baseia num método prático de obter substâncias químicas puras em uma forma adequada para o seu envase e armazenamento. A cristalização pode ser analisada dos pontos de vista de pureza, rendimento, consumo de energia, velocidade de formação e crescimento. Um cristal em si é muito puro. No entanto, quando se forma o cristal, a massa de sólido retém quantidade considerável de água. Por conseqüência, se o produto se seca diretamente, se produz uma contaminação que depende da quantidade e do grau de impureza das águas retidas pelos cristais. Na prática, uma grande parte das águas retidas se separam dos cristais por filtração ou centrifugação lavando com dissolvente fresco, com mais água. A eficácia desta etapa de purificação depende do tamanho e uniformidade dos cristais. Na cristalização há dois componentes, soluto e dissolvente. A fase sólida é um componente puro e as variáveis são: temperatura, pressão e concentração. Fixando uma delas, a pressão, ficam como variáveis a temperatura e a concentração. A relação entre a temperatura e a concentração é a habitual curva de solubilidade. O equilíbrio de cristalização se considera como um diagrama de fase. Em muitos processos industriais de cristalização, os cristais e as águas permanecem em contato durante o tempo suficiente para alcançar o equilíbrio, de forma que as águas ficam saturadas a temperatura final do processo. O rendimento da cristalização se pode calcular a partir da concentração da solução original e a solubilidade na temperatura final (MCCABE e SMITH, 1991).
- 4. Centrifuga:** ocorre o processo de separação de partículas sólidas ou líquidas de diferentes densidades. A centrifugação utiliza um equipamento denominado de centrifuga, cuja força é aplicada para girar velozmente (em torno de 2000 rpm) o produto cristalizado em uma cuba que tem a sua parede como um anteparo filtrante. Em razão da inércia, as partículas são comprimidas contra o anteparo que as retêm e permite a passagem dos

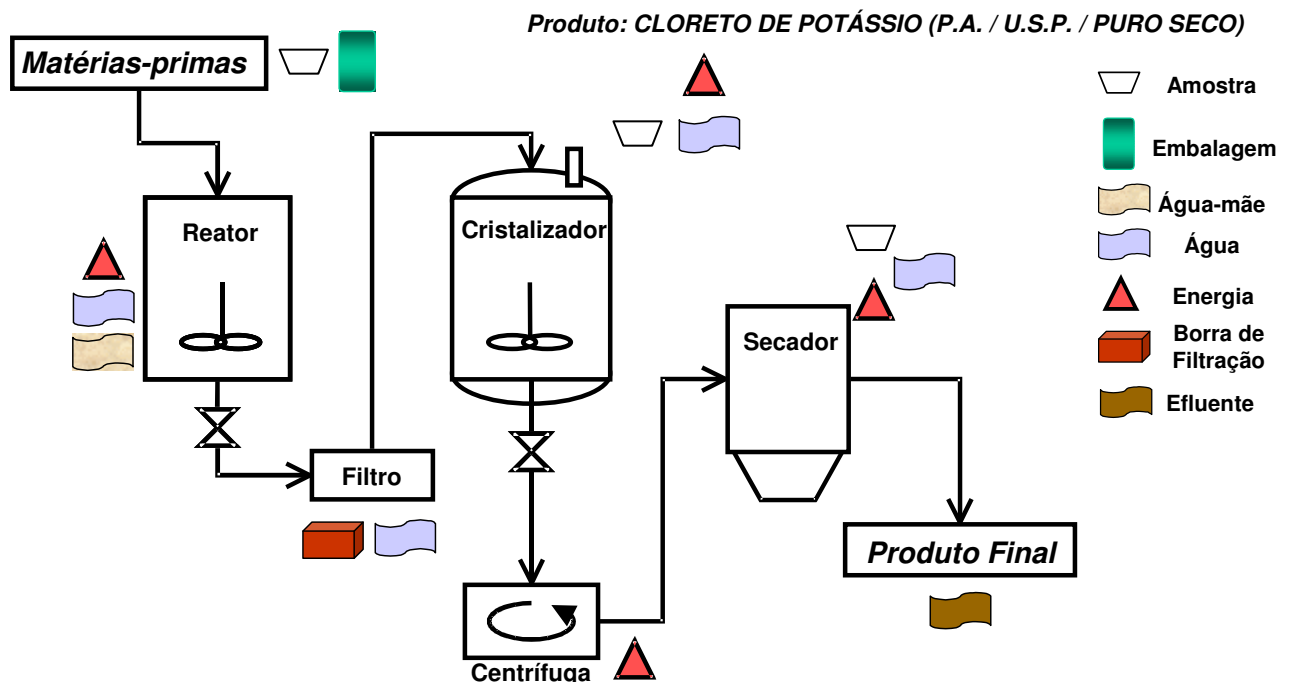
líquidos, fazendo o produto cristalizado perder parte da água contida (MCCABE e SMITH, 1991). A água retirada das partículas, durante o processo de centrifugação, é coletada em tanque para ser utilizada em um novo processo de purificação de concentrado de minério de cloreto de potássio, com a intenção de reduzir o consumo de água pura desmineralizada; esse líquido então removido é chamado de água-mãe por conter saturação do produto em processo.

- 5. Secador:** Processo de desidratação do produto por meio de leitos de secagem (estufa de aquecimento ou secador de leito fluidizado), onde é aplicado calor ou ar filtrado; a desidratação do produto centrifugado se dá então por evaporação e/ou pela passagem do líquido por meio de um leito filtrante (MCCABE e SMITH, 1991).

O padrão de tecnologia empregado no processo industrial da empresa consiste em equipamentos de reações químicas utilizados comumente em outras indústrias químicas, com instalação de reatores, centrífugas, cristalizadores, secadores, filtros e carrinhos coletores de produtos, construídos geralmente de aço-carbono e aço-inoxidável 304 ou 316L, movimentados a partir de energia elétrica e acionamento por botoeiras manuais (não tem sistema computadorizado de produção).

#### **5.4 Análise do Processo Produtivo – Entradas e Saídas**

O processo industrial para a purificação do concentrado de minério de KCl ocorre a partir da utilização de diversos recursos como: energia, matérias-primas, água, embalagens entre outros. As entradas e as saídas envolvidas no processo industrial, de purificação do concentrado de minério de KCl, estão apresentadas por meio da utilização de ferramenta de Análise de Ciclo de Vida (simplificado), conforme a Figura 5.



**Figura 5.** Entradas e saídas do processo de purificação do concentrado de minério de cloreto de potássio (KCl)

Fonte: O Autor (2006)

Há o detalhamento da fórmula padrão definida para a purificação do concentrado do minério de KCl que se apresenta nas Tabelas 3 e 4, nas quais também indicam-se as entradas e as saídas referentes ao processo dos tipos de produtos P.A. (Para Análise), U.S.P. (uso farmacêutico), PURO SECO (uso comercial) e Free Flow (uso alimentício).

**Tabela 3.** Fórmula padrão para produção de cloreto de potássio (KCl) P.A. / U.S.P. / PURO SECO, indicando entradas e saídas de ACV

Cloreto de Potássio (P.A./U.S.P./PURO SECO)	Quant.	Recurso	Ciclo de Vida
1 – Água-mãe:	10000 L	Matéria-prima	Entrada
2 - Água Desmineralizada	Se necessário	Matéria-prima	Entrada
3 – Concentrado de Minério de Cloreto de Potássio (Silvinita):	1400 kg	Matéria-prima	Entrada
4 – Carvão Ativado:	2 kg	Matéria-prima	Entrada
5 – Dióxido de Silício (Diatomita):	4 kg	Matéria-prima	Entrada
6 – Amostras de Controle de Processo	1 kg	Resíduo sólido	Saída
7 – Embalagens	15 kg	Resíduo sólido	Saída
8 – Energia elétrica	245 kW	Energia	Entrada

(continua)



**Tabela 3.** Fórmula Padrão para produção de Cloreto de Potássio (KCl) P.A. / U.S.P. / PURO SECO, indicando entradas e saídas de ACV (**continuação**)

<b>Cloreto de Potássio (P.A./U.S.P./PURO SECO)</b>	<b>Quant.</b>	<b>Recurso</b>	<b>Ciclo de Vida</b>
9 – Borra de filtração	40 kg	Resíduo sólido	Saída
10 – Água de lavagem	3000 L	Efluente líquido	Saída
Rendimento final			
11 – Produto final de Cloreto de Potássio	1200 kg	Produto final	Saída

Fonte: Empresa do estudo de caso (2006)

**Tabela 4.** Fórmula padrão para produção de cloreto de potássio (KCl) FREE FLOW, indicando entradas e saídas de ACV

<b>FÓRMULA-PADRÃO Cloreto de Potássio (FREE FLOW)</b>	<b>Quant.</b>	<b>Recurso</b>	<b>Ciclo de Vida</b>
1 – Água-mãe:	10000 L	Matéria-prima	Entrada
2 - Água Desmineralizada	Se necessário	Matéria-prima	Entrada
3 – Concentrado de Minério de Cloreto de Potássio (Silvinita):	1400 kg	Matéria-prima	Entrada
4 – Carvão Ativado:	2 kg	Matéria-prima	Entrada
5 – Dióxido de Silício (Diatomita):	4 kg	Matéria-prima	Entrada
6 - Silicato de Alumínio e Sódio	12 Kg	Matéria-prima	Entrada
7 – Amostras de Controle de Processo	1 kg	Resíduo sólido	Saída
8 – Embalagens	15 kg	Resíduo sólido	Saída
9 – Energia elétrica	245 kW	Energia	Entrada
10 – Borra de filtração	40 kg	Resíduo sólido	Saída
11 – Água de lavagem	3000 L	Efluente líquido	Saída
Rendimento final			
12 – Produto final de Cloreto de Potássio	1200 kg	Produto final	Saída

Fonte: Empresa do estudo de caso (2006)

Com estas entradas e saídas identificadas pela empresa do estudo de caso, há o emprego de outra ferramenta de gestão ambiental. No processo industrial avalia-se critérios como de abrangência, probabilidade, incidência, severidade, detecção e operação, envolvendo o levantamento dos aspectos ambientais mais significativos. Com esta constatação de significância de aspectos, gerou-se Controles Ambientais Operacionais para garantir o atendimento da capacidade do processo e proteção do ambiente para minimizar os impactos gerados.

Para o impacto ambiental de geração de resíduos sólidos industriais – borra de filtração, proveniente do processo de purificação do concentrado de minério de cloreto de potássio, o controle operacional existente na empresa apresenta-se como:

**Gerenciamento de Resíduo Químico:** o controle da geração de resíduo é realizado conforme as características. Para a produção de sais de cloreto de potássio, a borra de filtração não sofre nenhum pré-tratamento, ela é diretamente armazenada em caçamba disposta na empresa geradora que depois transporta para um aterro industrial como disposição final. As gerações destes resíduos são registradas na “Planilha de Controle de Resíduo – Processo Produtivo” – Anexo A. Outros resíduos gerados no processo produtivo, quando acidentalmente caem no piso da área de produção, são recolhidos e dispostos em coletores normais na área. Caso haja algum derramamento ou vazamento acidental de grande volume de material ou produto, na área de produção, o mesmo é recolhido, armazenado, identificado e descartado, conforme as orientações definidas pelo laboratório de controle de qualidade.

A indústria química tem em seus processos produtivos o consumo de quantidades de matérias-primas que após as suas transformações geram subprodutos – resíduos sólidos industriais – que não são reaproveitados em nenhuma fase do seu processo. A princípio, a empresa não identifica a possibilidade de retornar a borra de filtração ao processo, considerando-a imediatamente como resíduo sólido final, tendo como disposição o encaminhamento para o aterro industrial.

Para incorporar o montante destes resíduos remanescentes, depende de meios técnicos avançados nos processos de produção, da capacidade financeira para incorporar métodos de recuperação de insumos e depende, ainda, das etapas e dos processos que percorrem um bem final, o produto final de interesse para o mercado.

## **6 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDO INDUSTRIAL: Borra de Filtração KCl**

No cenário da indústria química, deste estudo de caso, o resíduo sólido industrial de origem do processo de purificação do concentrado de minério de Cloreto de Potássio (KCl) é destinado de forma a atender à legislação em vigor. Conforme o CADRI emitido pelo órgão ambiental (CETESB) com os dados do Laudo de Caracterização, amostrado em outubro/2004 – Amostra A, esta foi avaliada de acordo com a versão da ABNT NBR 10004/1987, vigente na época, que a classificou como resíduo sólido industrial Classe II – Não inerte.

Os resultados da amostra A estão descritos junto com os resultados apontados para os outros testes realizados durante esta pesquisa; esta amostra foi considerada como base inicial para que este estudo fosse desenvolvido.

A escolha por estudar este resíduo sólido industrial, seguiu três critérios:

- a) volume gerado por produção KCl – cerca de 4% do volume processado;
- b) volume gerado em relação a todos os outros processos produtivos – cerca de 81% dos resíduos gerados por ano são do processo de purificação do concentrado de minério de KCl;
- c) a classificação de acordo com a NBR ABNT 10004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004a).

Entretanto, pela necessidade de obter uma avaliação da possibilidade de nova alternativa de destinação e disposição final deste resíduo, no caso para a agricultura, a borra de filtração foi estudada conforme as descrições apresentadas a seguir.

### **6.1 Amostragem**

O resíduo sólido industrial – borra de filtração do processo de purificação do concentrado de minério de cloreto de potássio – a cada produção em batelada, foi coletado diretamente no filtro sparkler, durante os meses de março/2007 e maio/2007.

Estas bateladas ocorreram diariamente em números de 1 até 3 vezes, sendo coletada a borra de filtração em todas elas, durante o período de estudo.

A amostragem do resíduo borra de filtração de KCl foi realizada conforme orientações da NBR 10007/2004 (ABNT, 2004d). A partir de uma amostra inicial (a cada mês) e depois composta, reduzida pelo método de quarteamento das amostras, perfazendo 01 (uma) amostra composta para cada mês de coleta: Março/2007 – AMOSTRA B e Maio/2007 – AMOSTRA C.

As amostras B e C foram encaminhadas para o laboratório de análise químicas e físicas, para a caracterização e a classificação do resíduo. Os procedimentos de análises seguiram as normas técnicas NBR ABNT 10005/2004 e NBR ABNT 10006/2004 (ABNT, 2004b e 2004c), de preparação de extratos lixiviados e solubilizados, respectivamente.

## **6.2 Resultados**

Neste item apresentam-se os resultados obtidos na caracterização dos insumos do processo produtivo de purificação de KCl e da borra de filtração resultante deste processo.

### **6.2.1 Caracterização dos insumos do processo produtivo de purificação de Cloreto de Potássio (KCl)**

A borra de filtração foi para a análise de caracterização e classificação após a avaliação de seu processo de geração, uma vez que a composição química qualitativa de resíduos está relacionada aos componentes das matérias-primas utilizadas, responsáveis pela sua geração, bem como às reações que ocorrem durante o processo industrial.

Nas Tabelas 5, 6, 7 e 8 apresentam-se os dados médios das características dos insumos utilizados durante os processos produtivos amostrados, respectivamente, carvão ativado, dióxido de silício, concentrado de minério de KCl e silicato de Al e Na.

**Tabela 5.** Características do insumo – carvão ativado

<b>Atributo</b>	<b>Limite</b>	<b>Resultado</b>
Características pH susp. 1%/25°C	Pó fino, negro, inodoro 8,0 - 11,0	Pó fino, negro, inodoro 9,95
Constituintes não carbonizáveis	Passa teste (PT)	PT
Poder descolorante	Passa teste (PT)	PT
Sulfeto	Passa teste (PT)	PT

Fonte: Empresa do estudo de caso (2007)

**Tabela 6.** Características do insumo – dióxido de silício (diatomita)

<b>Atributo</b>	<b>Limite</b>	<b>Resultado</b>
Características	Pó fino, branco-acinzentado ou branco-amarelado	Pó fino, branco- acinzentado
Densidade	315 - 348 g/L	332,5 g/L
Umidade	0,90 - 1,10%	0,95%
Materiais orgânicos	Isento	Isento
Teor de SiO <sub>2</sub>	Mínimo 93,0%	94,25%

Fonte: Empresa do estudo de caso (2007)

**Tabela 7.** Características do insumo – concentrado de minério de KCl

<b>Atributo</b>	<b>Limite</b>	<b>Resultado</b>	
		<b>Composição Amostra B</b>	<b>Composição Amostra C</b>
Características	Cristal ou pó cristalino, bege, cinza ou avermelhado	Pó cristalino, bege e avermelhado	Pó cristalino, bege e avermelhado
pH sol. 5%	Quantificar	7,23	7,80
Solubilidade	Passa teste (PT)	PT	PT
Compostos nitrogenados	Quantificar	130 mg/Kg	524 mg/Kg
Metais pesados	Quantificar	8,33 mg/Kg	8,75 mg/Kg
Ferrocianeto	Passa teste (PT)	PT	PT
Iodeto e Brometo	Passa teste (PT)	PT	PT
Precipitado (Ca, Mg e sais alcalinos)	Quantificar	0,10%	0,11%
Sulfatos	Quantificar	370 mg/Kg	4032 mg/Kg
Teor (em KCl)	Mínimo 99,0% (base anidra)	99,57%	99,09%
<b>Origem do minério</b>	Sergipe	<b>Minério</b>	Silvinita

Fonte: Empresa do estudo de caso (2007)

**Tabela 8.** Características do insumo – silicato de alumínio e sódio

<b>Atributo</b>	<b>Limite</b>	<b>Resultado</b>
Absorção DOP	140 – 220 mL/100g	202 mL/100g
Densidade	220 – 320 g/L	284 g/L
pH 5g/100mL H <sub>2</sub> O	9,5 – 10,5	9,89
Sais solúveis (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	3% m/m	2,51% m/m
Umidade (105 <sup>o</sup> C)	8% m/m	5,21 % m/m

Fonte: Empresa do estudo de caso (2007)

### **6.2.2 Caracterização da borra de filtração do processo de purificação de Cloreto de Potássio (KCl)**

Os ensaios de lixiviação (NBR ABNT 10005/2004) e solubilização (NBR ABNT 10006/2004) permitem a classificação do resíduo conforme determinações da norma NBR ABNT 10004/200, através da comparação dos resultados obtidos nas análises com os valores máximos de concentrações definidos nas tabelas dos Anexos F (para o ensaio de lixiviação) e G (para o ensaio de solubilização) desta mesma norma.

Seguindo os critérios descritos nas normas citadas foi realizada inicialmente a pesquisa de periculosidade da borra de filtração que contempla a identificação da origem do resíduo e consultas aos Anexos A (resíduos perigosos de fontes não específicas) e B (resíduos perigosos de fontes específicas) da NBR ABNT 10004/2004. Se o resíduo constar nestes anexos, deve ser considerado como Perigoso. Com base nas características dos insumos utilizados – Tabelas 5, 6, 7 e 8, o resíduo não se enquadrava como Classe I – Perigoso. Desta forma prosseguiu-se a classificação do resíduo para a Classe II – Não-perigoso. Outras características que conferem periculosidade a um resíduo são inflamabilidade, reatividade e corrosividade que foram estudadas em face os dados de origem do resíduo em questão e a sua forma de apresentação, de acordo com os dados da Tabela 9.

**Tabela 9.** Características de periculosidade das amostras da borra de filtração de KCl

Parâmetros	Limites	Resultados	
		Amostra B	Amostra C
Reatividade*	-----	Componentes não promovem reatividade	Componentes não promovem reatividade
Patogenicidade*	-----	Não há suspeita	Não há suspeita
Corrosividade**	pH < 2 ou pH > 12,5	8,4	7,7

\* Base no processo produtivo. \*\* Mistura do resíduo com água na proporção 1:1 em peso.

Após caracterizar a periculosidade ou não do resíduo, foi realizado o teste de lixiviação, com análise dos parâmetros considerados significativos na norma e a comparação dos limites máximos estabelecidos para o extrato lixiviado de (Amostra A – Anexo G – Lista 7, NBR ABNT 10004/1987 e Amostras B e C, Anexo F – NBR ABNT 10004/2004). Os resultados apresentados para este teste constam nas Tabelas 10 e 11.

**Tabela 10.** Ensaio de lixiviação na borra de filtração de KCl

Parâmetros	Resultados		
	NBR ABNT 10004/1987 Amostra A	NBR ABNT 10004/2004	
		Amostra B	Amostra C
pH do extrato lixiviado obtido	5,01	4,2	4,6
Tempo Total de lixiviação (h)	24	18	18
Teor de Sólidos Secos (%)	N.A.	80,8	52,1
Volume de Líquido Obtido Total (mL)	N.A.	1000	1000

N.A. – Não analisado

**Tabela 11.** Concentração de constituintes presentes no extrato do teste de lixiviação da amostra de resíduo de borra de filtração de KCl

Parâmetro	Unidade	Limite Máximo Anexo G – Lista 7 NBR ABNT 10004/1987	Limite Máximo Anexo F NBR ABNT 10004/2004	Resultado analítico da lixiviação do resíduo		
				NBR ABNT 10004/1987	NBR ABNT 10004/2004	
				Amostra A	Amostra B	Amostra C
Arsênio	mg As/L	5,0	1,0	< 0,018	< 0,01	< 0,01
Bário	mg Ba/L	100,0	70,0	0,02	0,7	0,09
Cádmio	mg Cd/L	0,5	0,5	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Chumbo	mg Pb/L	5,0	1,0	< 0,021	< 0,01	< 0,01
Cromo Total	mg Cr/L	5,0	5,0	< 0,06	< 0,006	0,05
Fluoreto	mg F/L	150,0	150,0**	1,2	1,4	1,2
Mercúrio	mg Hg/L	0,1	0,1	< 0,001	< 0,013	< 0,013
Prata	mg Ag/L	5,0	5,0	< 0,004	< 0,004	< 0,004
Selênio	mg Se/L	1,0	1,0	< 0,01	< 0,056	< 0,056
1,1-Dicloroetileno	mg/L	---	3,0	---	< 0,0025	< 0,0025
1,2-Dicloroetano	mg/L	---	1,0	---	< 0,0025	< 0,0025
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	---	7,5*	---	< 0,0025	< 0,0025
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	---	400,0*	---	< 0,0025	< 0,0025
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	---	20,0	---	< 0,0025	< 0,0025
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	---	0,13*	---	< 0,0025	< 0,0025
Benzeno	mg/L	---	0,5*	---	< 0,0025	< 0,0025
Benzo-a-pireno	mg/L	---	0,07	---	< 0,0025	< 0,0025
Cloreto de Vinila	mg/L	---	0,5	---	< 0,0025	< 0,0025
Clorofórmio	mg/L	---	6,0*	---	< 0,0025	< 0,0025
Cresol Total ***	mg/L	---	200,0*	---	< 0,0025	< 0,0025
Hexaclorobenzeno	mg/L	---	0,1	---	< 0,0025	< 0,0025
Hexaclorobutadieno	mg/L	---	0,5*	---	< 0,0025	< 0,0025
Hexacloroetano	mg/L	---	3,0*	---	< 0,0025	< 0,0025
m-cresol	mg/L	---	200,0*	---	< 0,0025	< 0,0025
Metil Etil Cetona	mg/L	---	200,0*	---	< 0,0025	< 0,0025
Monoclorobenzeno	mg/L	---	100,0	---	< 0,0025	< 0,0025
Nitrobenzeno	mg/L	---	2,0*	---	< 0,0025	< 0,0025
o-cresol	mg/L	---	200,0*	---	< 0,0025	< 0,0025
p-cresol	mg/L	---	200,0*	---	< 0,0025	< 0,0025
Piridina	mg/L	---	5,0*	---	< 0,0025	< 0,0025
Tetracloroeto de Carbono	mg/L	---	0,2	---	< 0,0025	< 0,0025
Tetracloroetileno	mg/L	---	4,0	---	< 0,0025	< 0,0025
Tricloroetileno	mg/L	---	7,0	---	< 0,0025	< 0,0025

\* Parâmetros e limites máximos no lixiviado extraídos da USEPA – Environmental Protection Agency 40 CFR – Part 261 – 24 – ‘Toxicity Characteristics’.

\*\* Parâmetro e limite máximo no lixiviado mantido, extraído da versão anterior da NBR ABNT 10004/1987.

\*\*\* O parâmetro Cresol total somente deve ser utilizado nos casos em que não for possível identificar separadamente cada um dos isômeros.



Após o procedimento de lixiviação foi realizado o teste de solubilização para sua classificação como Classe IIA – Não Inerte ou Classe IIB - Inerte. Os resíduos enquadrados como Classe IIA: Não inerte ou Classe IIB: Inerte são assim classificados quando pelo menos um dos parâmetros do extrato solubilizado estiver acima dos limites máximos listados no Anexo G, segundo a norma NBR ABNT 10004/2004, que indicam concentrações não superiores aos padrões de potabilidade da água. Os resultados obtidos no extrato solubilizado são apresentados nas Tabelas 12 e 13.

Observa-se que a NBR ABNT 10004/2004 não contempla mais os aspectos considerados pela Portaria do Ministério da Saúde n. 518/2004, como aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (ABNT, 2004a e BRASIL, 2004b).

**Tabela 12.** Ensaio de solubilização na borra de filtração de KCl

Parâmetro	Resultado	
	Amostra B	Amostra C
pH final	7,6	7,5
Teor de Umidade (%)	19,2	47,9

**Tabela 13.** Concentração de constituintes presentes no extrato do teste de solubilização da amostra de resíduo de borra de filtração de KCl

Parâmetro	Unidade	Limite Máximo Anexo H – Lista 8 NBR ABNT 10004/1987	Limite Máximo Anexo G NBR ABNT 10004/2004	Resultado analítico da solubilização do resíduo			
				NBR ABNT 10004/1987		NBR ABNT 10004/2004	
				Amostra A	Amostra B	Amostra C	
Alumínio	mg Al/L	0,2	0,2	0,02	< 0,002	0,02	
Arsênio	mg As/L	0,05	0,01	< 0,018	< 0,01	< 0,01	
Bário	mg Ba/L	1,0	0,7	0,05	0,04	0,008	
Cádmio	mg Cd/L	0,005	0,005	< 0,002	< 0,002	< 0,002	
Chumbo	mg Pb/L	0,05	0,01	< 0,021	< 0,01	< 0,01	
Cianeto	mg/L	0,1	0,07	< 0,1	< 0,005	< 0,005	
<b>Cloretos</b>	<b>mg Cl/L</b>	250,0	250,0	<b>1060,0</b>	<b>5831,0</b>	<b>278,0</b>	
Cobre	mg Cu/L	1,0	2,0	< 0,003	< 0,003	< 0,003	
Cromo Total	mg Cr/L	0,05	0,05	< 0,006	< 0,006	< 0,006	
Dureza	mg CaCO <sub>3</sub> /L	500,0	---	649,0	--	---	
Fenóis	mg C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH/L	0,001	0,01	< 0,001	< 0,01	< 0,01	
Ferro	mg Fe/L	0,3	0,3	0,006	0,1	0,01	
Fluoretos	mg F/L	1,5	1,5	1,3	1,0	0,7	

(continua)

**Tabela 13.** Concentração de constituintes presentes no extrato do teste de solubilização da amostra de resíduo de Borra de Filtração de KCl (**continuação**)

Parâmetro	Unidade	Limite Máximo Anexo H – Lista 8 NBR ABNT 10004/1987	Limite Máximo Anexo G NBR ABNT 10004/2004	Resultado analítico da solubilização do resíduo		
				NBR ABNT 10004/1987	NBR ABNT 10004/2004	
				Amostra A	Amostra B	Amostra C
Manganês	mg Mn/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,04
Mercúrio	mg Hg/L	0,001	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Nitrato	mg N/L	10,0	10,0	0,2	8,3	0,2
Prata	mg Ag/L	0,05	0,05	< 0,004	< 0,004	< 0,004
Selênio	mg Se/L	0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Sódio</b>	<b>mg Na/L</b>	200,0	200,0	70,0	<b>213,0</b>	12,4
<b>Sulfato</b>	<b>mg SO<sub>4</sub>/L</b>	400,0	250,0	56,0	110,0	<b>619,0</b>
<b>Surfactantes</b>	<b>mg LAS/L</b>	0,2	0,5	< 0,2	<b>0,6</b>	0,09
Zinco	mg Zn/L	5,0	5,0	0,01	0,2	0,002

Obs.: Valores em negrito ultrapassaram o limite máximo.

Sendo a borra de filtração de KCl um resíduo sólido ao ser totalmente analisada pela NBR 10004/2004, NBR 10005/2004 e NBR 10006/2004, o resíduo passa a ser classificado como classe IIA, ou seja, resíduo não perigoso e não inerte, que descreve como: “os resíduos classe IIA – não inerte podem ter propriedades, tais como biodegradabilidade ou solubilidade”.

A presença de potássio foi analisada para avaliação quantitativa do elemento no resíduo de interesse, com vista à sua aplicação na agricultura como macronutriente. O resultado apresenta-se na Tabela 14:

**Tabela 14.** Teor de potássio na borra de filtração de KCl

Parâmetro	Unidade	Limite Detecção Máximo	Resultado	
			Amostra B	Amostra C
Potássio*	g K/kg	0,2	29,4**	12,08**

\* Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 20th Edition  
Preparação de amostras para análise por ICP (Plasma Indutivamente Acoplado)

\*\* Resultado em base seca.

As características que conferem patogenicidade não foram estudadas com profundidade em face os dados de origem do resíduo em questão e sua forma de apresentação não apontar suspeita à presença de patogênicos, uma vez que o processo produtivo utiliza-se de altas temperaturas para as suas operações (entre

90 à 100°C); verificou-se apenas a presença de coliformes fecais e totais, nas amostras, conforme a Tabela 15.

**Tabela 15.** Teste microbiológico na borra de filtração de KCl

Parâmetro	Unidade	Resultado	
		Amostra B	Amostra C
Coliformes fecais*	NMP/g ST	ausente	< 0,36
Coliformes totais*	NMP/g ST	300	< 0,36

\* Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 20th Edition – Method 9222

NMP: Número mais provável      ST: Sólidos Totais

## 7 DISCUSSÃO

### 7.1. Insumos e resíduo do processo produtivo de purificação de concentrado de minério de Cloreto de Potássio

A importância da avaliação dos constituintes presentes nos insumos utilizados no processo de purificação do concentrado de minério de cloreto de potássio (KCl), contribui para a interpretação dos resultados obtidos durante as análises de caracterização e classificação do resíduo pesquisado – borra de filtração.

De acordo com as características dos insumos observa-se que todos têm valores de pH dentro da faixa de alcalinidade. Na composição dos insumos encontram-se também as presenças de sulfetos, sulfatos, compostos nitrogenados, baixa concentração de metais pesados, ferrocianeto, iodeto, brometo e sílica; conforme tabelas 5, 6, 7 e 8.

A partir dos dados apresentados pelos ensaios de caracterização e classificação de resíduos, tem-se os seguintes resultados a serem considerados.

A borra de filtração foi caracterizada para a realização dos ensaios de lixiviação e solubilização, sendo os teores de sólidos secos das amostras B e C, respectivamente, 80,8% e 52,1% (umidade: Amostra B: 19,2% e Amostra C: 47,9%). Esta característica diferente entre as duas amostras deve-se ao fato do processo de filtração ter gerado uma borra mais seca para as amostragens do período de coleta da Amostra B; possivelmente um dos operadores do filtro sparkler pode ter aplicado, ao término do processo de filtração e antes de abrir o filtro, ar comprimido por um tempo mais longo, gerando então uma diferença de umidade entre os resíduos coletados e posteriormente amostrados.

No ensaio realizado para determinação de teor de potássio na borra de filtração verificou-se diferença nos resultados pelo fato da diluição do elemento na massa úmida do resíduo e também, provavelmente, pela eficiência do processo de purificação do concentrado de minério de KCl. Este é um fato que pode ser comprovado com base no teor de pureza no produto final obtido, que após os testes de controle de qualidade, para aprovação dos produtos finais, tiveram valores de rendimento em torno de 98% e 99% para as amostras B e C, respectivamente.

Conforme apresentado na Tabela 9, as amostras de filtração de KCl não apresentam características de reatividade e patogenicidade, considerando o fluxograma do

processo produtivo. As amostras também não apresentam características de corrosividade confirmadas pelos resultados de pH 8,4 e 7,7, respectivamente para as amostras B e C. Entretanto, foi realizado teste microbiológico que acusou a presença de coliformes fecais e totais na amostra C em baixa quantidade e na amostra B constatou a presença somente para coliformes totais também em baixa quantidade; estes valores podem estar relacionados à manipulação da amostra. Para esta pesquisa não considera a necessidade de análise de outros patógenos, como por exemplo, a *Salmonella sp.*, indicada na Norma CETESB P4230/99 e Resolução CONAMA n. 375/2006, devido às condições avaliadas do processo de purificação de KCl.

Quanto aos resultados obtidos para a classificação do resíduo, observa-se o seguinte:

Ensaio de Lixiviação: o ensaio de lixiviação foi realizado com a finalidade de identificar a periculosidade da amostra, uma vez que não foi possível identificar através dos anexos A e B da NBR 10004/2004.

Os baixos valores de concentração de elementos químicos como os metais pesados e os orgânicos, em ensaios de extratos de lixiviação (Tabelas 10 e 11) puderam demonstrar que a matéria-prima utilizada no processo não vem de sua origem com altos valores de contaminantes (Tabelas 5, 6, 7 e 8) e conseqüentemente garante com facilidade a qualidade de seus produtos para os clientes mais exigentes.

Nos resultados obtidos na Tabela 10 (Lixiviação) o resíduo não se enquadra como resíduo perigoso. Em conseqüência disso foi realizado o ensaio de solubilização (Tabela 12) para definir a sua classificação como Classe IIA – não inerte ou Classe IIB – inerte. Os resultados das amostras B e C foram concordantes que a classificação dada a amostra A pesquisada ainda com base na versão anterior da norma NBR 10004, do ano de 1987, ou seja, Classe IIB, não perigoso e não-inerte.

Tem-se evidências de que os valores para os parâmetros Cloretos são extremamente elevados em relação aos limites máximo da norma pois estão diretamente ligados à composição do concentrado de minério de cloreto de potássio e para os valores de Sódio encontrado na amostra B também é atribuído a composição do minério de cloreto de potássio, com origem conhecida do mineral silvinita (Tabela 2 p. 36 – capítulo 4).

Comparando os resultados nas amostras B e C, nota-se que a falha nas condições de controle operacional durante a geração dos resíduos influenciam nas

características das amostras, apresentando diferença entre os seus resultados; isso pode estar atribuído pela influência do processo de secagem da borra, pois quanto mais úmida ou seca ela estiver os elementos químicos podem ficar mais diluídos ou concentrados na massa do resíduo, valendo esta interpretação principalmente para os parâmetros: cloretos, sódio, nitrato e surfactantes, para a Amostra B, com alto teor de umidade. O sulfato apresentou valor elevado no teste de solubilização (Tabela 13), confirmando os valores médios de resultados referente às análises das matérias-primas que compõem a Amostra C – Tabela 7.

A presença destes compostos também se deve a aplicação de água comum para lavar a borra de filtração, no final do processo, uma vez que eles estão presentes como elementos químicos de parâmetros de controle de qualidade da água para consumo (Portaria do Ministério da Saúde n. 518, de 25 de março de 2004 - Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências). O fornecimento de água para a lavagem da borra tem como origem a companhia de abastecimento do município onde se localiza a empresa, não passando pelo processo de desmineralização como é feito para a água de processo.

Os teores mais elevados dos compostos de cloreto, sódio, sulfato e surfactante, resultantes do extrato solubilizado, leva à classificação deste resíduo – Borra de Filtração – como Classe IIA – não-perigoso e Não-inerte.

## **7.2. Aplicação agrícola da borra de filtração do processo de purificação do cloreto de potássio**

Uma questão fundamental é a que diz respeito à presença e concentração de elementos potencialmente tóxicos, tais como mercúrio, cromo, sódio, arsênio, bário, entre outros. Resíduos sólidos podem conter um determinado nível desses elementos maior que os presentes no solo. Assim, a sua incorporação nos solos agrícolas deve ser adequadamente planejada e monitorada. Zinco, cobre, manganês e ferro que são nutrientes essenciais para as plantas, em altas concentrações podem causar sérios problemas; o cádmio e o chumbo geralmente aparecem em quantidades consideráveis, especialmente se os resíduos são de origem industrial que manipulam materiais com estes elementos com grande significância. Neste

caso, há que se controlar e monitorar a aplicação porque, em especial, zinco e cobre, se presentes em teores elevados, podem ser fitotóxicos, podendo até, no caso do cádmio, ser altamente prejudicial para os animais que se alimentem de plantas cultivadas com tais resíduos. Assim, em todos os países onde o resíduo sólido industrial é aplicado na agricultura existem normas estabelecendo as concentrações máximas permitidas de metais pesados e o teor máximo acumulado no solo. As normas CETESB P4230/99 e Resolução CONAMA 375/2006 estabelecem esses limites e a taxa máxima de aplicação anual de metais em solos agrícolas tratados com lodo e a carga máxima acumulada de metais pela aplicação do lodo no solo.

A mobilidade dos metais pesados no solo depende em grande parte da sua reação, ou seja, se ele é mais ou menos ácido e, de maneira geral, aconselha-se que o pH dos solos, nos quais se faz incorporação de resíduo, deva ser mantido acima de 5,5, para evitar que os metais pesados, potencialmente tóxicos, possam ser absorvidos pelas plantas em quantidades que apresentem risco (BETTIOL e CAMARGO, 2006). As tecnologias de recente desenvolvimento que ainda não apresentam aplicação comprovada são agrupadas em “tecnologias emergentes” que deverão ter seu desenvolvimento acompanhado no transcorrer do tempo. Qualquer solução a ser considerada para utilização no caso em estudo deverá ter uma capacidade mínima comprovada para sua possível utilização. Esta capacidade, neste caso, situa-se nas características, no volume gerado, na recepção e/ou na disposição do resíduo.

Após realizada a classificação de resíduos - NBR ABNT 10004/2004 - deve-se partir para outros testes mais específicos conforme as legislações ambientais e agrícolas indicarem, principalmente se o propósito for a aplicação de resíduo em solo agrícola. Em ressalva a outros testes, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento orienta que para aplicar resíduos na agricultura deve-se partir das orientações do Decreto Federal nº 4954/2004 onde diz que:

“Art. 15: Todo produto novo, nacional ou importado, que não conte com antecedentes de uso no País, em qualquer um de seus aspectos técnicos, somente terá o seu registro concedido após relatório técnico-científico conclusivo, emitido por órgão brasileiro de pesquisa oficial ou credenciado, que ateste a viabilidade e eficiência de seu uso agrícola, sendo que os trabalhos de pesquisa com o produto, quando necessários, não deverão estender-se por um prazo maior que três safras agrícolas, salvo quando condições técnicas supervenientes exigirem a sua prorrogação” (BRASIL, 2004a).

“Art. 15. Inciso 1º: Quando se fizer necessário o trabalho de pesquisa, o pedido de registro de produto novo deverá vir acompanhado do relatório técnico-científico conclusivo, contendo a metodologia utilizada, a forma de avaliação, os resultados obtidos e a conclusão sobre a eficiência agrônômica do produto, realizado por instituições oficiais ou credenciadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento” (BRASIL, 2004a).

“Art. 16: Não estará sujeito ao registro o material secundário obtido em processo industrial, que contenha nutrientes de plantas e cujas especificações e garantias mínimas não atendam às normas deste Regulamento e de atos administrativos próprios” (BRASIL, 2004a).

“Art. 16. Inciso 1º: Para a sua comercialização, será necessário autorização do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, devendo o requerente, para este efeito, apresentar pareceres conclusivos do órgão de meio ambiente e de uma instituição oficial ou credenciada de pesquisa sobre a viabilidade de seu uso, respectivamente em termos ambiental e agrícola” (BRASIL, 2004a).

“Art. 16. Inciso 2º: Para sua utilização como matéria-prima na fabricação dos produtos especificados neste Regulamento, deverão ser atendidas as especificações de qualidade determinadas pelo órgão de meio ambiente, quando for o caso” (BRASIL, 2004a).

A indústria química deste estudo de caso, e outras indústrias químicas dedicadas à processos industriais de sais inorgânicos, podem apresentar potencial de reaproveitar os elementos químicos que contém em seus subprodutos, direcionando-os para a agricultura; isso depende de avaliações para caracterizar o resíduo sólido industrial por aplicação de testes e semelhança com outros testes de resíduos que atualmente são direcionados para esta finalidade.

Conforme o artigo 15 Inciso 1º, mencionado no Decreto Federal nº 4954/2004, o processo de pesquisa do resíduo industrial deve apresentar relatórios técnicos científicos apontando os resultados dos testes sobre a eficiência agrônômica para só assim ter a liberação do pedido de autorização do MAPA para comercialização de um novo produto criado a partir do resíduo; tais testes devem ser somente realizados em órgãos credenciados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e consistem em testes em casa de vegetação para avaliar a disponibilidade de potássio do resíduo em questão em comparação com adubo comercial, isto é, uma fonte solúvel para este elemento ( $K^+$ ).

Os ensaios agrônômicos, segundo a Fundação de Apoio À Pesquisa Agrícola (FUNDAG), consistem em avaliar a aplicação do resíduo – borra de filtração de KCl –, com cinco repetições, em dois tipos de solos (textura argilosa e arenosa), com



dois tratamentos (utilizando a borra pesquisada e outro com cloreto de potássio PA com quantidades equivalentes) e duas doses do resíduo e duas doses do controle. Os solos testados recebem uma adubação básica constituída por macro e micronutrientes, a umidade é mantida a 70% da capacidade máxima de retenção de água e ao final dos testes, com duração de 6 meses, a parte área da planta utilizada (milho) deve ser cortada e avaliada para determinar a concentração de K e demais macro e micronutrientes.

Além destes ensaios agrônômicos devem ser apresentados os pareceres conclusivos do órgão de meio ambiente sobre a viabilidade da aplicação e/ou disposição do resíduo em solo agrícola, respectivamente em termos ambiental e agrícola.

### **7.3 Diretrizes para avaliação de disposição de resíduo industrial na agricultura**

Para a avaliação de aplicação e/ou disposição de resíduo sólido industrial na agricultura, deve se atender as seguintes etapas:

- Conhecer o processo produtivo gerador do resíduo: investigar a presença de contaminantes (metais pesados, compostos orgânicos persistentes) em matérias-primas utilizadas durante a fabricação de produtos químicos;
- Avaliar a forma de gerenciamento do resíduo;
- Realizar a análise de classificação de resíduos sólidos, segundo a NBR ABNT 10004/2004 e seus complementos; – para identificar os contaminantes, e assim já desconsiderar o resíduo classificado como Classe I – Perigoso, como um recurso para a agricultura, ao menos que exista alguma forma de inertizar o contaminante;
- Consultar às legislações aplicáveis para o uso de resíduos sólidos industriais ou semelhantes, na agricultura (requisito estabelecidos pelo Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Agricultura, órgãos ambientais e outros envolvidos);
- Realizar testes de campo para comprovar o potencial agrícola do resíduo industrial;

- Registrar os relatórios de pesquisa no MAPA e no órgão ambiental;
- Avaliar o meio de transporte para o local de disposição;
- Emitir a autorização de transportar do resíduo - CADRI;
- Controlar o processo produtivo para garantir as características do resíduo;
- Monitorar a aplicação e/ou disposição do resíduo na agricultura.

## **8 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES**

### **8.1 Conclusão**

- As matérias-primas utilizadas durante o processo de purificação do concentrado de minério de cloreto de potássio apresentam baixas concentrações de contaminantes ou poluentes (metais pesados e compostos organoclorados).
- A borra de filtração do KCl foi classificada, segundo a NBR ABNT 10004/2004, como resíduo não-perigoso e não-inerte – Classe IIA, confirmando os resultados da primeira classificação com base na NBR ABNT 10004/1987 que está revogada.
- O estudo permitiu estabelecer diretrizes para avaliar a disposição e/ou uso do resíduo na agricultura.
- Os procedimentos de gerenciamento podem ser alterados para a inclusão da avaliação do resíduo para a destinação e/ou uso na agricultura.
- A manipulação do resíduo deve ser realizada de modo a evitar a contaminação microbiana.
- A metodologia adotada neste trabalho e as diretrizes estabelecidas podem ser aplicadas a resíduos provenientes de outras indústrias químicas dedicadas a processos de produtos inorgânicos, se existir a possibilidade de reaproveitar as borras de filtração e/ou outros resíduos gerado durante o processo que contenha elementos químicos essenciais para as plantas.

### **8.2 Recomendações**

- Outros testes podem ser conduzidos para avaliar a aplicação e/ou disposição do resíduo na agricultura, considerando maiores números de amostras.
- Para usar o resíduo sólido industrial na agricultura, deve-se conhecer as características do solo e da cultura para adequar a concentração de KCl e a adição de outros macro e micronutrientes.
- Tanto para uso ou aplicação agrícola deve ser realizado o monitoramento da carga máxima acumulada de contaminantes e poluentes pela aplicação do resíduo no solo, em relação a legislação de aplicação de lodo de esgoto.
- Em relação aos patógenos ao homem, só foram pesquisados coliformes neste primeiro momento. Desta forma, há necessidade de se conhecer outras

características e os efeitos desses poluentes no solo quando utilizados na agricultura.

- Muitas questões ainda podem ser respondidas, pela análise aprofundada dos dados, em relação às normas de aplicação de resíduo realizando testes de potencial agrícola (casa de vegetação) cujos resultados devem ser considerados para o seu relativo uso na agricultura.
- Para manter as características do resíduo destinado para a agricultura, o monitoramento do controle do processo produtivo, gerador do resíduo, deve ser periodicamente reavaliado.
- Deve-se preservar as suas características das amostras, evitam-se possíveis riscos de contaminações ao longo do processo de avaliação da destinação e/ou uso na agricultura.

## Referências

ABREU, M. F. e ANDRADE, J. C. **Análise química de resíduos sólidos para monitoramento e estudo agroambientais.** In: A utilização de resíduos na agricultura. Campinas: Instituto Agrônomo, 2006. p.1-8.

ALMEIDA, C. M. V. B. e GIANNETTI, B.F. **A indústria Química no Contexto da Ecologia Ambiental.** Disponível em:<[www.hottopos.com/regep12/art1.htm](http://www.hottopos.com/regep12/art1.htm)>, acesso em: 03 set. 2007.

ALTAFIN, V. L.; POLONIO, W.; MEDEIROS, G. A.; BRANDÃO, M. F.; ZUIN, F. D.; BUSCARATO, E. A.; MENEZES, M. O. Utilização de lodo e fosfatização na produção de mudas de espécies nativas. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.1, n.1, p45-50, jan./dez. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Normas Técnicas. **NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação.** Norma Técnica, Rio de Janeiro. 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Normas Técnicas. **NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.** Norma Técnica, Rio de Janeiro. 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Normas Técnicas. **NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.** Norma Técnica, Rio de Janeiro. 2004c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Normas Técnicas. **NBR 10007: Amostragem de resíduos.** Norma Técnica, Rio de Janeiro. 2004d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Nota técnica sobre NBR 10004:2004.** Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/imagens/NOTATECNICACONSOLIDADOFINAL.pdf>>, acesso em 30 out. 2007.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. A Disposição de Lodo de Esgoto em Solo Agrícola. In: BETTIOL, W. CAMARGO, O. A. **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura.** Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. p. 25-45.

BLACKADDER, D. A. e NEDDERMAN, R. M. **Manual de Operações Unitárias.** Tradução: Luiz Roberto de Godoi Vidal. Departamento de Engenharia Química. Universidade de Cambridge. Cambridge, Inglaterra. Hemus Editora Ltda: São Paulo, 1982.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONELO, J. G. L.; VERAS JR., M. S.; PORTO, M. F. A.; NUCCI, N. L. R.; JULIANO, N. M. A.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental.** 2<sup>a</sup>. Edição. São Paulo: Prentice Hall, 2005. p. 336

BRASIL (1981). **Lei Federal nº 6.938, de 81 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.** Presidência da República. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil/Leis/L6938.html>>, acesso em 12 nov. 2007.

BRASIL (1998). **Lei Federal nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.** Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=320>>, acesso em 19 abr. 2008.

BRASIL (2002). **Resolução CONAMA n. 313, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais.** Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res31302.html>>, acesso em 10 out. 2007.

BRASIL (2004a). **Decreto Federal n. 4.954, 14 de janeiro de 2004. Aprova o Regulamento da Lei Federal n. 6,894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Diário Oficial da União. Brasília, DF. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=5473>>, acesso em: 19 abr.2008

BRASIL (2004b). **Portaria n. 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.** Ministério da Saúde. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em: <<http://dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port2004/GM/GM-518.htm>>, acesso em 10 out. 2007.

BRASIL (2005). **Resolução CONAMA n. 358, de 29 de abril de 2005. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências.** Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial da União. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35805.pdf>>, acesso em: 14 mai.2008

BRASIL (2006). **Resolução CONAMA n. 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.** Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial da União. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>, acesso em: 14 mai.2008

BRASIL (2008). **Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências.** Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=309>>, acesso em 09 jul. 2009.

CAMPOS, J. O. **Gestion de Déchets Industriels.** Stage de Spécialisation, CerChimie/SARP Industries. Nanterre, Limay, France. 1999. p. 74

CAMPOS, J. O. C.; BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. et al. **Manejo de resíduos: pressuposto para a gestão ambiental.** Laboratório de Planejamento Municipal – DEPLAN – IGCE UNESP. Rio Claro: Ed. Campinas. 2002. p.110

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000.** Qualitymark Ed: Rio de Janeiro. CNI. 1997.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação.** São Paulo: CETESB, 1999. (Norma CETESB P4230)

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Vinhaça: critérios e procedimentos para o armazenamento, transporte e aplicação de vinhaça no solo do estado de São Paulo.** São Paulo: CETESB, 2006. (Norma CETESB P4231)

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Consulta geral a homepage oficial.** Disponível em: <<http://www.cetesb.gov.br>>. Acesso em: 23 ago. 2008

CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA (CRQ). Saiba como a tecnologia química ajuda a produção agrícola nacional. **Jornal do Conselho Regional de Química IV Região (SP e MS).** Ano 15. n. 80. Jul – Ago, 2006. p. 5 – 6

CURI, N.; LARACH, J.O.I.; KAMPF, N.; MONIZ, A.C.; FONTES, L.E.F. **Vocabulário de ciência do solo.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1993. 90p.

EMBRAPA MEIO AMBIENTE. **Aproveitamento de resíduos na agricultura.** Disponível em:<[www.cnpma.embrapa.br/unidade/index.php3?idid=232&func=pesq](http://www.cnpma.embrapa.br/unidade/index.php3?idid=232&func=pesq)>, acesso em: 10 ago. 2006.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). **Bolsa de Resíduos: Negócios e Meio Ambiente.** Disponível em:<<http://apps.fiesp.com.br/bolsaresiduos/index.asp>>, acesso em: 14 out. 2007.

GONÇALVES, D. B. Impactos no Meio Ambiente. **Workshop: Impactos da evolução do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo.** Projeto de Pesquisa de Pesquisa em Políticas Públicas. Campinas, 2008.

KAMINSKI, F.H.C., **Análise crítica da norma ABNT NBR 10004:2004 Resíduos sólidos – Classificação**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental. IPT. Prof. Dr. Ângelo José Consoni. São Paulo, 2007. p.102 (37)

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. Campinas: Editora Agronômica Ceres. 1976. 528p.

MANTOVANI, J. R.; CORRÊA, M. C. M.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; NATALE, W. Uso fertilizante de resíduo da indústria processadora de goiabas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2. 2004.

MARTINES, A. M. **Impacto do lodo de curtume nos atributos biológicos e químicos do solo**. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2005. 62 p.

MARTINS, J.; OLIVEIRA, M. R. C. Caracterização e classificação do resíduo sólido Pó de Carvão, gerado na indústria siderúrgica não integrada a carvão vegetal: Estudo de um caso da região de Sete Lagoas/MG. **Química Nova**, v. 26, n. 1, p. 5-9, 2003.

MCCABE, L. W. e SMITH, J. C. **Operaciones básicas de Ingeniería Química**. Volumen II. Editorial Reverté S.A. Barcelona – Bogotá – Buenos Aires – Caracas – México. Título da obra original: Unit Operations of Chemical Engineering. Editada por Mc Graw – Hill Book Company. Traducida por: Prof. Dr. Fidel Mato Vázquez, Dr. José Coca Prados y Dr. Pablo Mogollón Sánchez. Edición en español. Impreso em Barcelona. 1991

MELCARNE, M. M. C. de A. **Alternativas tecnológicas de uso dos resíduos gerados no processo de produção do alumínio primário**. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia Ambiental na área de concentração em Gestão Ambiental). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2007. 129p.

MELLONI, R.; SILVA, F. A. M.; SOUZA, F. M. M.; FURTANI, A. E. Pó de forno de aciaria elétrica na microbiota do solo e no crescimento de soja. **Jornal Pesquisa Agropecuária**, v. 36, p. 1547-1554, 2001.

MONTEIRO, A. E. **Índice de Qualidade de Aterros Industriais – IQRI**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2006

NASCIMENTO, M.; MONTE, M. B. M. M.; LOUREIRO, F.E.L. **Potássio**. In: LUZ, A.B. e LINS, F.A.F. Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Tecnologia Mineral – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005, p.173-196.

PINTO, F. A. R. **Resíduos sólidos industriais: caracterização e gestão. O caso do Estado do Ceará**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na área de concentração em Saneamento Ambiental) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004. 205 p.



PUPATTO, J. G. C. et al. Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.11, nov.2003.

ROCCA, A. C. C.; IACOVONE, A. M. M. B.; BARROTTI, A. J. et al. **Resíduos Sólidos Industriais**. 2<sup>a</sup>. Edição rev. e ampliada. São Paulo: CETESB, 1993. p. 233

SACHS, I. Sociétés, Culture et Environnement. **Conférence de l'Ecoles des Hautes Etudes en Sciences Sociales**. Paris, France. Mundo & Vida. vol. 2, 2000.

SACHS, O. A. P. **Uso de biossólidos na produção de mudas de *Cytherexylum myrianthum Cham.* (pau-viola)**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Centro de Aperfeiçoamento Tecnológico. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo. São Paulo. 2005.

SANTOS, E. L. **Uso de resíduos industriais perigosos na agricultura**. III **Conferência Nacional de Saúde do Trabalhador: "Trabalhar Sim, Adoecer Não"**. Centro de Convenções Ulysses Guimarães - Brasília/DF. 2005. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/trabalhador/pdf/textos\\_residuos\\_industriais.pdf](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/trabalhador/pdf/textos_residuos_industriais.pdf)>, acesso em: 10 mar. 2006a.

SANTOS, P. M.. **Avaliação de alternativas para a prevenção, reciclagem e co-processamento de resíduos de uma empresa do setor siderúrgico**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Gestão Ambiental. Orientador: Prof. Dr. Ângelo José Consoni. São Paulo, 2006b. 111p.

SÃO PAULO (1976). **Decreto Estadual n. 8.468, de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei Estadual n. 997, de 31 de maio de 1976. Dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente**. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, SP. Disponível em:<[http://www.ambiente.sp.gov.br/leis\\_internet/76\\_8468.doc](http://www.ambiente.sp.gov.br/leis_internet/76_8468.doc)>, acesso em 10 out. 2007.

SÃO PAULO (2006). **Lei Estadual nº 12.300, de 16 de março de 2006. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes**. Secretaria do Meio Ambiente. Diário Oficial do Estado. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/leis/2006%20Lei%2012300.pdf>>, acesso em: 14 mai.2008

SENAI.RS. **Implementação de Programas de Produção mais Limpa**. Porto Alegre, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/ UNIDO/INEP, 2003. 42 p.

TRIGUEIRO, R. M. **Uso de biossólidos como substrato para produção de mudas de pinus e eucalipto**. Dissertação (Mestrado em Agronomia na área de Concentração em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002. 83 p.

VALLE, M. A. **Diagnóstico da Relação Indústria e Meio Ambiente no Município de Santo André/SP com ênfase nos recursos hídricos.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. São Paulo. 1997. 109 p.

## **Anexos**



Anexo B – Modelo de Ficha de Produção: Purificação de concentrado de minério de KCl

<b>FICHA DE PRODUÇÃO</b>	<i>Data:</i> /    /
--------------------------	---------------------

<b>PRODUTO:</b>	<b>LOTE:</b>	<b>RESP.</b>
<b>REATOR ORIGEM:</b>		

DESCRIÇÃO (matéria-prima)	QUANTIDADES		
	FÓRMULA PADRÃO	ADICIONAL	TOTAL
1-	Lt	Lt	Lt
2-	Lt	Lt	Lt
3- Lote:	Lt	Kg	Kg
4- Lote:	Kg	Kg	Kg
5- Lote:	Kg	Kg	Kg
6- Lote:	Kg	Kg	Kg
7 – Lote:	Lt	Lt	Lt
8 – Lote:	Lt	Lt	Lt

**Peso Final do Produto (Rendimento):** **Kg**

**OBSERVAÇÕES:**

**PARADAS DURANTE O PROCESSO**

HORÁRIO DA PARADA	HORÁRIO DO REINÍCIO	AUTORIZADO POR: