

**Universidade Federal de Alagoas- UFAL**

**Centro de Tecnologia- CTEC**

**Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento**

**Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento**



**MARCIUS OMENA BOMFIM DE LIMA**

**PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO: UMA GESTÃO PRÓ ATIVA E SUSTENTÁVEL NA  
REDUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS. ESTUDO DE CASO DE UMA INDÚSTRIA  
QUÍMICA BRASILEIRA**

MACEIÓ

2011

**MARCIUS OMENA BOMFIM DE LIMA**

**PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO: UMA GESTÃO PRÓ ATIVA E SUSTENTÁVEL NA  
REDUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS. ESTUDO DE CASO DE UMA INDÚSTRIA  
QUÍMICA BRASILEIRA**

Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas- UFAL, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Karina Ribeiro Salomon

MACEIÓ

2011

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
**Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale**

L732p    Lima, Marcius Omena Bomfim de.  
Prevenção da poluição: uma gestão pró ativa e sustentável na redução de resíduos sólidos : estudo de caso de uma indústria química brasileira / Marcius Omena Bomfim de Lima – 2011.  
148f. : il.

Orientadora: Karina Ribeiro Saloman.  
Dissertação (mestrado em Engenharia : Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2011.

Bibliografia: f. 135-142.  
Apêndices: f. 143-147.

1. Resíduos industriais. 2. Resíduos sólidos – Inventário. 3. Avaliação econômica. I. Título.

CDU: 628.4

MARCIUS OMENA BOMFIM DE LIMA

**PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO: UMA GESTÃO PRÓ ATIVA E SUSTENTÁVEL NA  
REDUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS. ESTUDO DE CASO DE UMA INDÚSTRIA  
QUÍMICA BRASILEIRA**

Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas- UFAL, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientadora: Prof. Dra. Karina Ribeiro Salomon



Marcius Omena Bomfim de Lima


Mestrando

**Aprovado pela Banca Examinadora de Novembro de 2011.**



Prof. Dra. Karina Ribeiro Salomon- UFAL

Orientadora



Prof. Dra. Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira- UFAL



Prof. Dr. Antônio Pedro de Oliveira Netto- FUNASA

A DEUS, primeiramente, por me dar forças para concluir mais uma etapa da minha  
jornada de crescimento pessoal e profissional.  
Ao meu falecido pai, Paulo Bomfim de Lima Filho, a minha mãe Vera Lúcia, a minha  
esposa Eliane Duarte e aos meus filhos Isabelle Duarte e Igor Duarte.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço mais uma vez a DEUS, pela oportunidade que me foi dada e pela ajuda que estou obtendo para conclusão deste mestrado, lembrando que foram diversas dificuldades ao longo do caminho, mas com perseverança e dedicação, consegui concluir mais uma etapa da minha vida, e aguardando as que porventura virão.

Aos meus pais, a minha esposa e meus filhos, aos meus colegas de sala de aula, ao corpo docente e aos meus colegas de trabalho que me incentivaram a concluir este trabalho.

Em especial às pessoas envolvidas diretamente no meu projeto que são a Professora Dra. Karina Ribeiro Salomon e o meu ex-colega de trabalho Isaac Gabai.

Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim”.

Chico Xavier.

## RESUMO

Os resíduos perigosos produzidos pelas indústrias são particularmente preocupantes, pois, quando incorretamente gerenciados, tornam-se uma grave ameaça ao meio ambiente. Os geradores são obrigados pelos órgãos competentes a cuidar do gerenciamento, transporte, tratamento e destinação final de seus resíduos, e essa responsabilidade é para sempre. O objetivo geral deste trabalho foi avaliar as alternativas de destinação de resíduos sólidos perigosos gerados na Braskem nas unidades de produção da PVC e Cloro Soda em Alagoas a partir da eliminação de valo classe I na Unidade de Resíduos Sólidos da Braskem PVC Alagoas. Um dos grandes desafios é equilibrar o ciclo de custo, pois ocorrerá um aumento de custo na produção de um determinado produto, associado às necessidades de investimentos. A forma mais adequada é atuar fortemente na redução da geração dos resíduos sólidos e buscar alternativas de reaproveitamento destes resíduos. A análise econômica da viabilidade da implantação de novas tecnologias acarretará em um aumento de custo na produção dos produtos produzidos na Braskem PVC/AL e Braskem CS/AL, mas que será extremamente fundamental para a redução do passivo ambiental, dos resíduos que são dispostos em valos para os resíduos perigosos. As medidas de redução de resíduo na fonte devem ser avaliadas e adotadas de acordo com a sua viabilidade técnica e econômica, com uma visão sustentável sendo que aquelas que não forem nem técnica nem economicamente viáveis no contexto atual, devem ser adiadas para uma posterior realização.

**Palavras-chave:** Resíduos industriais. Resíduos sólidos- Inventário. Avaliação econômica.



## **ABSTRACT**

Hazardous waste produced by industry are particularly worrying, because when improperly managed, become a serious threat to the environment. The generators are required by the competent bodies to take care of management, transportation, treatment and disposal of its waste, and that responsibility is forever. The aim of this study was to evaluate the alternatives for allocation of hazardous solid waste generated in Braskem in production of PVC Soda and Chlorine in Alagoas from the elimination of values in Class I Solid Waste Unit of Braskem PVC Alagoas. A major challenge is balancing the cost cycle, because there will be a cost increase in the production of a particular product, coupled with investment needs. The best way is to act strongly on reducing solid waste generation and seek alternatives for reuse of these wastes. The economic analysis of the feasibility of deploying new technologies will result in an increase in production cost of products produced in Braskem PVC/AL and Braskem CS/AL, but it will be extremely critical to reducing the environmental burden of waste that are arranged in intervals for hazardous waste. Measures to reduce waste at source should be evaluated and adopted in accordance with its technical and economic feasibility, with a sustainable vision and those who are neither technically nor economically feasible in the current context, should be postponed to a later realization.

**Keywords.** Industrial waste. Solid-waste Inventory. Economic evaluation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação de resíduos sólidos.....	29
Figura 2 – Visualização simbólica do conceito de prevenção de poluição (P2).....	31
Figura 3 – Visualização simbólica do conceito de redução de resíduos (R2).....	31
Figura 4 – Estágios do ciclo de vida do produto.....	35
Figura 5 – Hierarquia de opções para a gestão de resíduos.....	37
Figura 6 – Exemplos de mudanças tecnológicas para a prevenção da poluição.....	38
Figura 7 – Exemplos típicos de oportunidades de redução na fonte.....	39
Figura 8 – Biorremediação.....	47
Figura 9 – Sistema de injeção de ar.....	48
Figura 10 – Injeção de vapor.....	50
Figura 11 – Fluxograma da metodologia para avaliação da técnica de solifidicação / estabilização.....	52
Figura 12 – Autoclave.....	54
Figura 13 – Forno de microondas instalado no aterro sanitário de Ribeirão Preto....	54
Figura 14 – Fluxo de blendagem.....	59
Figura 15 – Blend de resíduo formado para ser co-processado em cimenteira.....	60
Figura 16 – Etapas do processo de fabricação do cimento.....	61
Figura 17 – Incinerador industrial.....	64
Figura 18 – Fluxograma de um processo de incineração de resíduos sólidos.....	66
Figura 19 – Processo de landfarming.....	68
Figura 20 – Vala de aterro classe I.....	71
Figura 21 – Vala de aterro classe II A.....	72
Figura 22 – Vala de aterro classe II B.....	73
Figura 23 – Vista aérea da unidade de resíduos sólidos industriais.....	82
Figura 24 – Fluxograma processo unidade de incineração de resíduos líquidos perigosos.....	85
Figura 25 – Vista aérea da unidade de tratamento de efluentes.....	87
Figura 26 – Vista do tanque de água bruta.....	89
Figura 27 – Vista do sistema de água clarificada e filtrada.....	90
Figura 28 – Vista do sistema de água potável (tanque e bombas).....	91
Figura 29 – Vista do sistema de desmineralização.....	92
Figura 30 – Vista aérea da geração de vapor.....	94

Figura 31 – Vista das tubulações instaladas na tubovia.....	95
Figura 32 – Fluxograma de processo do MVC.....	98
Figura 33 – Diagrama de bloco simplificado do processo de PVC.....	100
Figura 34 – Esquema geral do processo de Cloro Soda.....	103
Figura 35 – Geração total dos resíduos sólidos da Extinta Cinal por tipo e quantidade (m <sup>3</sup> ) no período de 2004 a 2009.....	113
Figura 36 – Geração total dos resíduos sólidos da Braskem PVC/AL por tipo e quantidade (m <sup>3</sup> ) no período de 2004 a 2009.....	115
Figura 37 – Geração total dos resíduos sólidos da Braskem CS/AL por tipo e quantidade (m <sup>3</sup> ) no período de 2004 a 2009.....	118
Figura 38 – Geração total dos resíduos sólidos industriais por empresa- base em massa (T) no período de 2004 a 2009.....	119
Figura 39 – Geração total dos resíduos sólidos industriais por empresa- base em volume (m <sup>3</sup> ) no período de 2004 a 2009.....	120

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Geração de resíduos sólidos industriais no Brasil (parcial).....	25
Tabela 2 – Vantagens e desvantagens do processo de biorremediação.....	47
Tabela 3 – Vantagens e desvantagens do processo de injeção de ar.....	49
Tabela 4 – Vantagens e desvantagens do processo de injeção de vapor.....	50
Tabela 5 – Vantagens e desvantagens do processo de solidificação / estabilização.....	53
Tabela 6 – Vantagens e desvantagens do processo de autoclavagem.....	55
Tabela 7 – Vantagens e desvantagens do processo de microondas.....	55
Tabela 8 – Vantagens e desvantagens do co-processamento.....	63
Tabela 9 – Vantagens e desvantagens do processo de incineração.....	67
Tabela 10 – Vantagens e desvantagens do processo de landfarming.....	69
Tabela 11 – Vantagens e desvantagens do aterro industrial.....	70
Tabela 12 – Fluxo operacional versus geração principal de resíduos sólidos na unidade de resíduos sólidos industriais.....	83
Tabela 13 – Fluxo operacional versus geração principal de resíduos sólidos na unidade de incineração de resíduos líquidos perigosos.....	85
Tabela 14 – Fluxo operacional versus geração principal de resíduos sólidos na unidade de tratamento de efluentes.....	88
Tabela 15 – Fluxo operacional versus geração principal de resíduos sólidos na unidade de tratamento de água.....	93
Tabela 16 – Fluxo operacional versus geração principal o de resíduos sólidos na unidade de geração de vapor.....	94
Tabela 17 – Fluxo operacional versus geração principal de resíduos sólidos da tubovia.....	96
Tabela 18 – Fluxo operacional versus geração principal de resíduos sólidos da produção de MVC.....	99
Tabela 19 – Fluxo operacional versus geração principal de resíduos sólidos da produção de PVC.....	101
Tabela 20 – Fluxo operacional versus principal geração de resíduos sólidos da produção de Cloro Soda.....	104

Tabela 21 – Preço para tratamento de resíduos sólidos industriais perigosos (classe I).....	106
Tabela 22 – Distribuição total de resíduos sólidos classe I, II A e resíduos de serviço de saúde dispostos no aterro industrial da extinta Cinal.....	110
Tabela 23 – Geração total dos resíduos sólidos da Extinta Cinal por tipo e quantidade (m <sup>3</sup> ) no período de 2004 a 2009.....	113
Tabela 24 – Geração total dos resíduos sólidos da Braskem PVC/AL por tipo e quantidade (m <sup>3</sup> ) no período de 2004 a 2009.....	115
Tabela 25 – Geração total dos resíduos sólidos da Braskem CS/AL por tipo e quantidade (m <sup>3</sup> ) no período de 2004 a 2009.....	118
Tabela 26 – Geração total dos resíduos sólidos industriais por empresa- base em massa (T) no período de 2004 a 2009.....	119
Tabela 27 – Geração total dos resíduos sólidos industriais por empresa- base em volume (m <sup>3</sup> ) no período de 2004 a 2009.....	120
Tabela 28 – Premissas para análise do impacto do custo na produção de PVC....	122
Tabela 29 – Premissas para análise do impacto do custo na produção de PVC- Anual.....	124
Tabela 30 – Premissas para análise do impacto do custo na produção de ECU....	128
Tabela 31 – Premissas para análise do impacto do custo na produção de ECU- Anual.....	129

## LISTA DE SIGLAS

ABIQUIM- Associação Brasileira da Indústria Química  
ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ACV- Análise de Ciclo de Vida  
AL- Alagoas  
BTEX- Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos  
CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo  
CINAL- Companhia Alagoas Industrial  
Cl<sub>2</sub>- Cloro  
CO- Monóxido de Carbono  
CO<sub>2</sub>- Dióxido de Carbono  
CONAMA- Conselho Nacional de Meio Ambiente  
CS- Cloro Soda  
DBO- Demanda Biológica de Oxigênio  
EDC- Dicloroetano  
EPI- Equipamento de Proteção Individual  
ECU- Toneladas de Cloro Gás é equivalente ao custo de produção da  
SODA+CLORO+HIDROGÊNIO decorrente do processo de eletrólise da Salmoura  
EPA- Environmental Protection Agency  
F-701- Incinerador  
GV-701- Gerador de vapor  
H<sub>2</sub>O- Água  
HCl- Ácido Clorídrico  
HCS- Hidrocarboneto Clorado Seco  
HCU- Hidrocarboneto Clorado Úmido  
IMA-AL- Instituto do Meio Ambiente do Estado de Alagoas  
ISO- International Organization for Standardization  
mm CA- mm de coluna de água  
MVC- Monocloreto de Vinila  
N<sub>2</sub>O- Dióxido de Nitrogênio  
NYSDEC- New York State Department of Environmental Conservation  
O<sub>2</sub>- Oxigênio  
OC- Organo Clorados

ONU- Organização das Nações Unidas  
P2- Prevenção da Poluição  
P+L- Produção Mais Limpa  
P-702- Resfriador do Quencher  
P-701- Quencher  
PEAD- Polietileno de Alta Densidade  
PET- Politereftalato de etileno  
pH- Potencial hidrogeniônico  
PNUMA- Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente  
ppm- Parte por milhão  
PR- Prevenção de Resíduos  
PVC- Policloreto de Vinila  
R2- Redução de Resíduos  
RSS- Resíduo de Serviço de Saúde  
T- Tonelada  
TPH- Hidrocarboneto Total de Petróleo  
TQ-704- Tanque de Estocagem  
Tubovia- Transferência de produtos por dutos  
UNIB- Unidade de Petroquímicos Básicos  
URS- Unidade de Resíduos Sólidos  
UTE- Unidade de Tratamento de Efluentes  
WBCSD- World Business Council for Sustainable Development

## SUMARIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>20</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivo Especifico.....</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1</b>	<b>O Negócio Resíduo Sólido.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2</b>	<b>Resíduos Sólidos no Brasil.....</b>	<b>24</b>
2.2.1	A Classificação dos Resíduos Sólidos.....	25
<b>2.3</b>	<b>Prevenção à Poluição.....</b>	<b>29</b>
2.3.1	Base Conceitual.....	29
2.3.2	Níveis de Atuação da Prevenção da Poluição.....	37
2.3.3	Programas de Prevenção da Poluição – Avaliação.....	39
<b>2.4</b>	<b>Tecnologias de Tratamento e Disposição de Resíduos Sólidos...</b>	<b>45</b>
2.4.1	Remediação.....	45
2.4.1.1	Biorremediação.....	46
2.4.1.2	Injeção de Ar ( <i>Air Sparging</i> ).....	48
2.4.1.3	Tecnologias Térmicas ( <i>Thermal Enhanced</i> ).....	49
2.4.2	Solidificação/Estabilização.....	51
2.4.3	Autoclavagem.....	54
2.4.4	Microondas.....	55
2.4.5	Co-processamento.....	57
2.4.6	Incineração.....	63
2.4.7	Landfarming.....	67
2.4.8	Aterro Industrial.....	69
2.4.8.1	Aterro Classe I.....	70
2.4.8.2	Aterro Classe II A.....	71
2.4.8.3	Aterro Classe II B.....	73
<b>2.5</b>	<b>Inventário de Resíduos Sólidos.....</b>	<b>73</b>
<b>2.6</b>	<b>Avaliação Econômica.....</b>	<b>74</b>
<b>2.7</b>	<b>Passivo Ambiental.....</b>	<b>78</b>
<b>2.8</b>	<b>Considerações do Capítulo.....</b>	<b>79</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>80</b>
<b>3.1</b>	<b>Descrição das Áreas de Estudo.....</b>	<b>80</b>



3.1.1	Descrição do Processo da Extinta Cinal.....	80
3.1.2	Descrição do processo da Braskem PVC Alagoas.....	88
3.1.3	Descrição do Processo da Braskem Cloro Soda Alagoas.....	101
<b>3.2</b>	<b>Levantamento de Dados.....</b>	<b>104</b>
<b>3.3</b>	<b>Avaliação Econômica.....</b>	<b>105</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>109</b>
<b>4.1</b>	<b>Resíduos Recebidos no Aterro Industrial da Extinta Cinal (Atual Braskem PVC/AL) no Período de 1989 a 2009.....</b>	<b>110</b>
<b>4.2</b>	<b>Inventário dos Resíduos Sólidos Classe I Recebidos no Aterro da Braskem PVC (Período de 2004 a 2009).....</b>	<b>111</b>
<b>4.3</b>	<b>Avaliação Econômica dos Custos para as Plantas da Braskem PVC/AL e Braskem CS/AL pela Adoção de Novas Tecnologias de Tratamento de Resíduos Sólidos Classe I pelo Processo de Incineração e Co-processamento.....</b>	<b>121</b>
<b>4.4</b>	<b>Considerações do Capítulo.....</b>	<b>131</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>133</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>135</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>143</b>
	Anexo 1.....	143

## 1 INTRODUÇÃO

O devido tratamento dos resíduos sólidos vai depender das características do resíduo. Diversas são as tecnologias e os processos destinados a tratar os resíduos líquidos, sólidos, semi-sólidos ou gasosos. As tecnologias mais aplicadas para resíduos sólidos industriais, por exemplo, é o processo de remediação, solidificação/estabilização, autoclavagem, microondas, co-processamento, incineração, landfarming e aterro industrial estabilização

A indústria química é fornecedora de matérias-primas e produtos para todos os setores produtivos, da agricultura ao aeroespacial, a indústria química desempenha relevante papel na economia. No Brasil, o setor químico é o segundo em importância na formação do PIB Industrial (ABIQUIM, 2001).

Apesar de contribuir para o avanço econômico e para o desenvolvimento de um país, a indústria química gera inúmeros inconvenientes, como: a formação de subprodutos tóxicos; a contaminação do ambiente; a produção de grandes volumes de efluentes tóxicos, o aquecimento global, etc.

O ambiente natural do Planeta Terra é constituído por ciclos ecológicos, onde o resíduo de um processo torna-se fonte alimentadora de outro. No passado, os materiais eram projetados para terem características robustas e resistentes aos ciclos de degradação, com o objetivo de atender às exigências dos consumidores, por um material durável. Porém, várias áreas ao redor do Planeta estão saturadas de materiais não degradáveis o que causa grande impacto ambiental (Meirelles, 2009).

Demajorovic (2003) ressalta que o crescimento desenfreado das forças produtivas no século passado, principalmente no ramo químico, teve como uma das maiores consequências, o crescimento dos problemas socioambientais globalmente e o avanço tecnológico e industrial iniciou uma ameaça à flora e a fauna, pondo em risco o ser humano. O potencial de impacto ambiental deste setor, portanto, deve ser analisado a partir de duas vertentes: a dos acidentes ambientais e a da poluição ambiental.

A análise ou avaliação ambiental do setor químico e petroquímico deve ser feito também através do estudo da cadeia produtiva de modo a quantificar o impacto ambiental de bens e serviços. Essa avaliação inclui a cadeia produtiva completa do

produto, processo ou atividade, ou seja, a extração e o processamento de matérias primas, a fabricação, o transporte e a distribuição; o uso, o reemprego, a manutenção; a reciclagem, a reutilização e a disposição final (Soares, 2006).

Dessa forma é possível uma análise dos danos ambientais de cada estágio da cadeia produtiva, e dessa forma considera-se dano ambiental qualquer tipo de impacto causado no ambiente pela existência do produto. Isso inclui a extração de diferentes matérias primas, emissão de substâncias tóxicas, utilização da terra, geração de energia para fabricação e uso do produto, sendo que o termo produto é usado para bens e serviços (SOARES, 2006).

A Braskem é a maior produtora de resinas termoplásticas das Américas, com foco em polietileno, polipropileno e PVC, e a oitava petroquímica do mundo, posições alcançadas após a aquisição, em 2010, de sua principal concorrente no Brasil, a Quattor, e dos ativos de polipropileno da Sunoco Chemicals, dos Estados Unidos. Atualmente, a companhia possui unidades distribuídas em cinco estados das regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil e em três dos Estados Unidos, onde também abriga uma das três unidades do Centro de Tecnologia e Inovação.

Com capacidade instalada superior a 15 milhões de toneladas de produtos químicos por ano, a Braskem possui clientes em mais de 60 países dos cinco continentes, fornecendo produtos que, após processados, transformam-se em artigos de uso cotidiano por indivíduos de diversas culturas e origens. Automóveis, utensílios domésticos, artigos de limpeza e higiene pessoal, embalagens flexíveis (cujo formato depende da forma física do produto acondicionado), eletrodomésticos e até edificações são exemplos de produtos que contêm em sua composição resinas termoplásticas.

A Braskem realiza contínuos investimentos para melhorar a eficiência de suas operações, apresentando boa evolução em seus ecoindicadores – consumo de água, energia, materiais e geração de resíduos. Ao mesmo tempo, além de contribuir para a formação de mão de obra qualificada – um dos grandes desafios para o desenvolvimento sustentável do Brasil, a companhia também aplica recursos em projetos sociais que beneficiam muitas comunidades em regiões distintas do País.

As operações da Braskem estão estruturadas em três unidades de negócio, que coordenam as áreas industrial, comercial, de marketing, logística, suprimentos,

exportação, recursos humanos, planejamento e controladoria. Cada unidade tem autonomia de decisão para desenvolver seu negócio, focada em seu segmento:

- ✓ Unidade de Petroquímicos Básicos (UNIB): responsável pela primeira geração de petroquímicos produz eteno, propeno, intermediários químicos e aromáticos. O eteno é utilizado, por exemplo, para produzir polietileno e Policloreto de Vinila (PVC), e o propeno é matéria-prima para o polipropileno. As plantas da UNIB localizam-se na Bahia (Camaçari), no Rio de Janeiro (Duque de Caxias), no Rio Grande do Sul (Triunfo) e em São Paulo (Mauá).
- ✓ Unidade de Polímeros: reúne as operações de segunda geração da cadeia petroquímica, com destaque para as resinas polietileno, polipropileno e PVC, além de cloro e soda. Suas unidades fabris estão localizadas nos cinco estados onde a Braskem opera: Alagoas (Maceió e Marechal Deodoro), Bahia (Camaçari), São Paulo (Paulínia, Mauá e Cubatão), Rio de Janeiro (Duque de Caxias) e Rio Grande do Sul (Triunfo).
- ✓ Unidade de Negócios Internacionais: responsável pela expansão internacional da Braskem e pela área de Negócios Verdes, cujo objetivo é consolidar as oportunidades em matérias-primas renováveis e biopolímeros.

Na área ambiental, a Braskem atingiu em 2010 o melhor resultado para o indicador de ecoeficiência em geração de resíduos sólidos, saindo de um patamar de 5,78 ton de resíduo gerada por tonelada de produtos produzidos em 2002 para 2,21 ton de resíduo gerada por tonelada de produtos produzidos em 2010. Esta redução é decorrente dos investimentos contínuos em modernização, atualização tecnológica e manutenção dos ativos industriais.

O estudo de caso a ser apresentado neste trabalho, buscará reduzir a geração de resíduos sólidos industriais, através de medidas preventivas, bem como no uso de outras tecnologias em substituição ao aterro industrial, de forma que o passivo gerado por estes resíduos sólidos industriais dispostos no aterro industrial, seja reduzido.

A geração de resíduos representa um dos maiores desafios para as sociedades contemporâneas. O crescimento populacional e o constante desenvolvimento das indústrias obrigam a busca de soluções para o manejo e gestão adequada dos resíduos. O contexto ambiental do mundo está cada vez mais crítico, as alterações no modo como as empresas estabelecem seus planejamentos estratégicos, para enfrentar os riscos ambientais por pressões de consumidores de

governos ou por uma simples mudança de conscientização. Enfim, as organizações não podem mais ignorar completamente a questão ambiental.

A escolha pelo tema deste trabalho tem como grande oportunidade a redução de resíduos na sua fonte de origem e a redução do passivo ambiental disposto em aterro industrial.

A dissertação foi estruturada em 5 Capítulos, no 1º Capítulo a introdução, os objetivos gerais e os objetivos específicos do trabalho.

O 2º Capítulo contém a revisão da bibliografia, a qual se inicia com os conceitos do negócio resíduos sólidos industriais, descreve sobre os resíduos sólidos no Brasil, classifica os resíduos sólidos no Brasil, descreve as tecnologias de tratamento mais utilizadas no Brasil e discorre sobre a prevenção da poluição e a avaliação econômica.

O 3º Capítulo refere-se à proposta metodológica de prevenção da poluição a partir de um estudo de caso, da substituição da disposição de resíduos em valos, por novas tecnologias de tratamento (incineração e co-processamento).

No 4º Capítulo estão descritos os resultados e as discussões do trabalho, que descreve sobre o inventário de resíduos sólidos industriais, da análise econômica referente à disposição de valor em relação às novas tecnologias de tratamento propostas (incineração e co-processamento).

O 5º Capítulo refere-se às conclusões do trabalho.

## 1.1 Objetivo Geral

Avaliar as alternativas de destinação dos resíduos gerados nas áreas de produção da Braskem Policloreto de Vinila (PVC) e da Braskem Cloro Soda (CS) em Alagoas (AL) para eliminação da disposição de resíduos sólidos perigosos em valos na Unidade de Tratamento de Resíduos Sólidos (URS) da Braskem PVC/AL.

## 1.2 Objetivos Específicos

- Inventariar resíduos classe I gerados pelas unidades de PVC e CS da Braskem em Alagoas no período de 2004 a 2009 que se encontram dispostos nos valos da Unidade de Resíduo Sólido da Braskem Unidade de PVC-AL;
- Avaliar as alternativas de incineração e co-processamento na destinação dos resíduos sólidos classe I em substituição aos valos de resíduos;
- Avaliação econômica do custo de produção de uma tonelada de PVC produzido anualmente e de uma tonelada de Cloro Gás produzida anualmente, que equivale ao custo de produção da SODA+CLORO+HIDROGÊNIO decorrente do processo de eletrólise (ECU) em relação a nova destinação dos resíduos perigosos (classe I) aplicado as tecnologias de incineração e co-processamento em relação a disposição de resíduos em valos classe I.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 O Negócio Resíduo Sólido**

A percepção de que é necessário explorar a cidadania com maior profundidade em todos os segmentos da sociedade moderna, tem impulsionado o setor empresarial para ações concretas em direção à melhoria da qualidade de vida no planeta. Cresce a consciência de que meio ambiente deve ser encarado como um conceito amplo, não restrito apenas às questões relacionadas à fauna e à flora, mas também envolvendo todos os aspectos que possam vir a influenciar a relação do ser humano com a natureza.

O aumento da população mundial implica no aumento do uso das reservas do planeta, da produção de bens, e também da geração de resíduos. Atrelado a isso, vem o aumento da poluição do solo, das águas (subterrâneas e de superfície) e do ar, levando a um contínuo e acelerado processo de deterioração ambiental (MISSIAGGIA, 2002).

A maioria dos problemas ambientais que hoje ocorrem no mundo poderia ter sido evitada se a educação ambiental e a consequente conscientização ecológica fizessem parte das preocupações das sociedades desenvolvidas desde a revolução industrial. O desconhecimento dos efeitos ambientais de certas ações está na origem de grandes desastres ecológicos. Parece ser consensual a necessidade de disseminar, entre todos, desde a infância, uma nova consciência e mudança de atitudes, visando à construção de um desenvolvimento sustentável.

Na busca pela melhoria da qualidade de vida, a indústria pró-ativa assume o seu papel de co-responsável, tornando-se parceira de segmentos representativos da sociedade. Não basta que as empresas demonstrem apenas uma contínua melhoria na qualidade de seus serviços e produtos. Agora elas estão sendo pressionado para demonstrar sua capacidade de oferecer serviços e produtos menos agressivo ao meio ambiente (MISSIAGGIA, 2002).

Segundo Kinlaw (1997), as empresas que operam com base na previsão e no planejamento de longo prazo, estão em persistente busca de meios de melhorar o seu desempenho ambiental. Tais organizações aceitam a responsabilidade ambiental como uma condição de continuidade de suas operações e de sua competitividade. Estão desenvolvendo novos processos de produção, reduzindo as

emissões e eliminando os gases que destroem a camada de ozônio. Elas estão mudando as embalagens de seus produtos para reduzir o desperdício e o custo do material descartável com que arcam seus clientes. As empresas também estão recuperando e reutilizando seus próprios resíduos e produtos secundários, utilizando para tanto uma variedade de programas de reciclagem de papel, produtos químicos, plástico, água e outros.

Um dos motivos pelos quais as empresas têm demorado a reconhecer o desafio ambiental como uma oportunidade de melhorar o seu desempenho é a idéia de que os ambientalistas e a alta administração das empresas representam necessidades e pontos de vista completamente divergentes. É necessário perceber que a empresa não está fora do meio ambiente, ao contrário, ela faz parte deste ambiente (MISSIAGGIA, 2002).

A introdução na indústria de tecnologias, gerando menos resíduos, é uma importante ferramenta para diminuir problemas ambientais, desta forma permite-se a redução da poluição ambiental, e, na maioria dos casos, também a redução dos custos de produção (MISSIAGGIA, 2002).

O parque industrial brasileiro está passando por uma intensa fase de transformação, e essas mudanças estão relacionadas com as tendências atuais de crescente urbanização, aceleração na comunicação e reestruturação das empresas cada vez mais preocupadas em maximizar a competitividade comercial (LIMA E FERREIRA, 2007).

Por volta de 20 anos atrás, o problema dos resíduos e sua disposição segura não recebiam muita atenção. A disposição inadequada levou à poluição das águas e a contaminação dos solos afetando diretamente a saúde humana e ao meio ambiente (LORA, 2000).

Na realidade, o agravamento da situação ambiental teve seu início após a Revolução Industrial, uma vez que a tecnologia empregada melhorou as condições de vida na sociedade pré-moderna, contribuindo para o crescimento populacional, o qual gerou a necessidade de investimentos em novas técnicas de produção em massa, visando atender à demanda cada vez mais crescente de consumo. O aumento da população mundial e a mudança de seus hábitos consumistas, como a urbanização das comunidades e o aprimoramento de técnicas cada vez mais modernas de industrialização, resultaram num aumento significativo no volume dos resíduos gerados (LIMA E FERREIRA, 2007).



A adequada destinação desses resíduos é um dos grandes desafios da humanidade, no caso do Brasil, o desafio é ainda maior, pois poucos são os casos de destinação final correta dos resíduos sólidos industriais. Apesar disso a maioria das legislações e regulamentações propostas para o gerenciamento de resíduos é caracterizada por uma definição geral de “resíduos sólidos” ou “resíduos perigosos” onde se usa critérios tais como a origem e a presença de substâncias ou compostos tóxicos e suas propriedades.

A legislação invoca o princípio da responsabilidade do gerador que trata a responsabilidade desde a geração, estocagem, armazenamento, transporte, tratamento até sua disposição final. Sendo assim, o gerenciamento requer um bom entendimento do processo que dá origem ao resíduo, ocasionando o desenvolvimento de tecnologias de tratamento efetivas e programas de treinamento do pessoal, para que as práticas inadequadas possam ser abolidas (LIMA E FERREIRA, 2007).

O fato de o meio ambiente sempre ter sido considerado um recurso abundante e classificado na categoria de bens livres, ou seja, daqueles bens para os quais não há necessidade de trabalho para sua obtenção, dificultou a possibilidade do estabelecimento de critérios para a sua utilização e tornou disseminada a poluição ambiental, passando a afetar a totalidade da população, através de uma apropriação socialmente indevida do ar, da água e do solo (MISSIAGGIA, 2002).

No princípio, as organizações preocupavam-se apenas com a eficiência dos sistemas produtivos. Até certa altura, que se pode situar nos anos 60, essa foi a mentalidade predominante na prática da administração, refletindo a noção de mercados e recursos ilimitados. Em curto espaço de tempo, essa noção revelou-se equivocada, porque ficou evidente que o contexto de atuação das empresas tornavam-se cada dia mais complexo e que o processo decisório sofreria restrições cada vez mais severas. Um dos componentes importantes dessa reviravolta nos modos de pensar e agir foi o crescimento da consciência ambiental na sociedade, no governo e nas próprias empresas, que passaram a incorporar essa orientação em seu planejamento estratégico. O impacto dessa revolução pode ser observado na mudança de ênfase na teoria da administração, onde a produção literária passa a preocupar-se com a variável ecológica, entre outras (MISSIAGGIA, 2002).

De acordo com Donaire (1995), a repercussão da questão ambiental dentro das organizações e o crescimento de sua importância ocorrem a partir do momento

em que a empresa dá-se conta de que essa atividade, em lugar de ser uma área que só lhe propicia despesas, pode transformar-se em um excelente local de oportunidades de redução dos custos. Isto pode ser viabilizado, seja através do reaproveitamento e venda de resíduos e aumento das possibilidades de reciclagem, seja por meio da descoberta de novos componentes ou novas matérias-primas que resultem em produtos mais confiáveis e tecnologicamente mais limpos.

## **2.2 Resíduo Sólido no Brasil**

Conforme a Resolução 313 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 2002, o resíduo sólido industrial é todo resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semi-sólido, gasoso - quando contido 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 a 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. O lixo industrial é bastante variado, podendo ser representado por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papéis, madeiras, fibras, borrachas, metais, escórias, vidros e cerâmicas.

Segundo Fausto e CHASIN (2003), com o aumento qualitativo e quantitativo do número de substâncias e conseqüentemente aumento da produção, armazenamento, manipulação, transporte, uso e disposição das substâncias químicas, o potencial de exposição humana e contaminação do ambiente pelos acidentes e incidentes, no trabalho ou em casa estão aumentando. Em face deste aumento, os riscos ambientais associados a estes resíduos ficam mais evidentes devidos o desconhecimento de sua composição e formas adequadas de acondicioná-los.

Predomina em muitas áreas urbanas a disposição final inadequada de resíduos industriais, o lançamento dos resíduos industriais perigosos em lixões, nas margens das estradas ou em terrenos baldios o que compromete a qualidade ambiental e de vida da população. O tratamento mais comum para resíduos industriais perigoso é a incineração. Os dados reunidos para compor a visão da geração dos resíduos sólidos industriais no Brasil classificados em perigosos e não

perigosos, as totalizações por estado e o total dos resíduos têm por origem principal o período compreendido entre 2001 e 2005 e em poucos casos até mais recentes. As informações disponíveis não possibilitam uma totalização completa dos resíduos sólidos industriais gerados no país. Porém, mesmo que parcial, a visão propiciada pelos dados apresentados na tabela 1, incluem a maioria dos principais estados industrializados da Federação e por terem sido coletados em anos recentes e próximos, permitem vislumbrar o porte do problema a ser enfrentado (ABETRE/FGV, 2006).

Tabela 1- Geração de resíduos sólidos industriais no Brasil (parcial)

<b>Estado</b>	<b>Perigosos (t/ano)</b>	<b>Não Perigosos (t/ano)</b>	<b>Total (t/ano)</b>
AC*	5.500	112.765	118.265
AP*	14.341	72.211	87.552
CE*	115.238	393.831	509.069
GO*	1.044.947	12.657.326	13.702.273
MG*	828.183	14.337.011	15.165.194
PE*	81.583	7.267.930	7.349.513
RS*	182.170	946.899,76	1.129.070
<b>Sub-Total</b>	<b>2.271.962</b>	<b>35.788.973,76</b>	<b>38.060.936</b>
PR**	643.543	15.106.393	15.740.936
RJ**	293.953	5.768.562	6.062.515
SP**	535.615	26.084.062	26.619.677
<b>Sub-Total</b>	<b>1.464.111</b>	<b>46.959.017</b>	<b>48.423.128</b>
<b>Total</b>	<b>3.736.073</b>	<b>82.747.991</b>	<b>86.484.064</b>

Fonte: \*(Inventários Estaduais de Resíduos Sólidos Industriais e \*\*Panorama das Estimativas de Geração de Resíduos Industriais- ABETRE, 2006).

### 2.2.1 A Classificação dos Resíduos Sólidos

Conhecer as características do resíduo é fator importante para avaliar alternativas de tratamento, disposição e recuperação de energia. A caracterização de um resíduo é muitas vezes bastante difícil, principalmente devido às limitações técnicas dos laboratórios. Em função disso, a origem do resíduo e um conhecimento prévio do processo industrial, que lhe deu origem, podem facilitar grandemente a classificação de um resíduo através das listagens da NBR 10.004/2004.

Aqueles resíduos, cuja origem não seja conhecida ou que não sejam caracterizados através das listagens, deverão ter sua periculosidade efetivamente avaliada através da amostragem e realização de exames e testes em laboratórios

padronizados das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

As decisões técnicas e econômicas tomadas em todas as fases do resíduo, desde a sua geração, o manuseio, o acondicionamento, o armazenamento, a coleta, transporte, tratamento e a sua disposição final, devem basear-se na classificação do resíduo, em função dos riscos que estes podem apresentar ao homem e ao meio ambiente.

Com o objetivo de padronizar, em nível nacional, a classificação dos resíduos, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabeleceu um conjunto de normas que caracterizam os resíduos de acordo com sua periculosidade. São elas:

- NBR 10.004:2004 - Resíduos Sólidos – Classificação
- NBR 10.005:2004 - Lixiviação de Resíduos – Procedimento
- NBR 10.006:2004 - Solubilização de Resíduos – Procedimento
- NBR 10.007:2004 - Amostragem de Resíduos – Procedimento

Os resíduos são classificados em classes: I (Perigosos), II (Não-Perigosos), os não perigosos se dividem em II A (Não inertes) e o II B (Inertes).

**a) Classe I – Perigosos:** São aqueles que apresentam periculosidade em função de suas propriedades físicas e químicas ou infecto-contagiosa ou uma das características seguintes:

- Inflamabilidade: caracterizado como inflamável;
- Corrosividade: caracterizado como corrosivo;
- Reatividade: caracterizado como reativo;
- Toxicidade: caracterizado como tóxico;
- Patogenicidade: caracterizado como patogênico.

Podendo apresentar riscos à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices e riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.

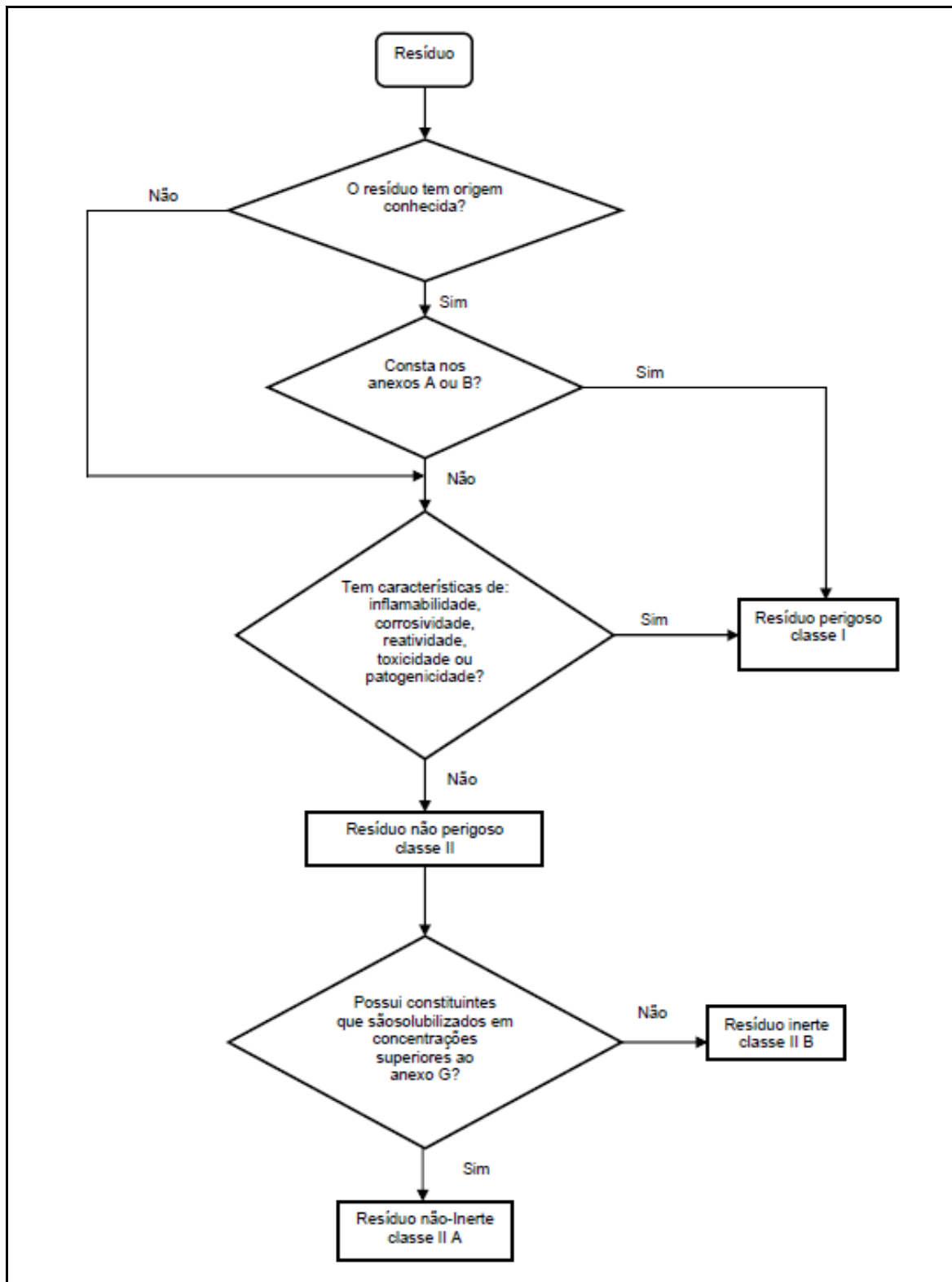
**b) Classe IIA – Não Perigosos (Não-Inertes):** São os resíduos que, por suas características, não se enquadram na classificação de resíduo classe I (Perigoso) ou classe IIB (Não Perigoso-Inerte). Esses resíduos podem apresentar propriedades como solubilidade em água, biodegradabilidade ou combustibilidade.

**c) Classe IIB - Não Perigosos (Inertes):** São os resíduos que submetidos ao teste de solubilidade (conforme NBR 10.006:2004 - Solubilização de Resíduos) não

possuem nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, exceto o aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme listagem da NBR 10.004:2004.

A classificação dos resíduos sólidos, conforme NBR 10.004:2004, pode ser verificada na figura 1:

Figura 1- Classificação de resíduos sólidos.



Fonte: (Norma Brasileira da ABNT, NBR 10004, 2004).

## **2.3 Prevenção à Poluição**

### **2.3.1 Base Conceitual**

O avanço recente e acelerado de estudos, pesquisas, iniciativas, estratégias, mecanismos e sistemas adotados e perseguidos por diversos segmentos da sociedade em prol da melhoria da Qualidade Ambiental em todas as suas dimensões ensejaram o surgimento de farta terminologia própria e de expressões emergentes, muitas das quais ainda carentes de normatização conceitual.

O critério adotado neste trabalho foi o de empregar esta terminologia fundamentada em pressupostos conceituais consagrados em publicações de organismos internacionais, como a Organização das Nações Unidas (ONU), o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) e de agências ambientais de referência e reconhecimento nacional e internacional, tais como Environmental Protection Agency (EPA), a New York State Department of Environmental Conservation (NYSDEC) e a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB), e também em normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e na legislação ambiental brasileira e internacional.

Nos últimos anos, foi desenvolvido e vem tomando forma um novo conceito e estratégia de proteção ambiental focado na eliminação ou modificação de atividades que possam resultar em impactos adversos sobre o meio ambiente. Esse conceito, conhecido no idioma Inglês como Pollution Prevention, tendo como foco nesta dissertação a Prevenção da Poluição (P2), mas traduzido por muitos autores, como Prevenção à Poluição, vem ganhando apoio internacional de governos e indústrias como meio para alcançar metas e padrões, e reduzir os recursos despendidos com a remediação e saneamento ambiental (ELIZEU, 2002).

Diferentes definições de Prevenção da Poluição foram desenvolvidas por diversos autores e organizações, nos últimos anos. Prevenção da poluição freqüentemente refere-se à redução na fonte, incluindo práticas que maximizam a redução ou eliminam a geração da poluição. Enquanto a prevenção da poluição inclui a redução de resíduo, ela amplia o conceito para incluir a minimização da geração e lançamento de quaisquer materiais e resíduos tóxicos para todos os meios – ar, água e solo (ELIZEU, 2002).

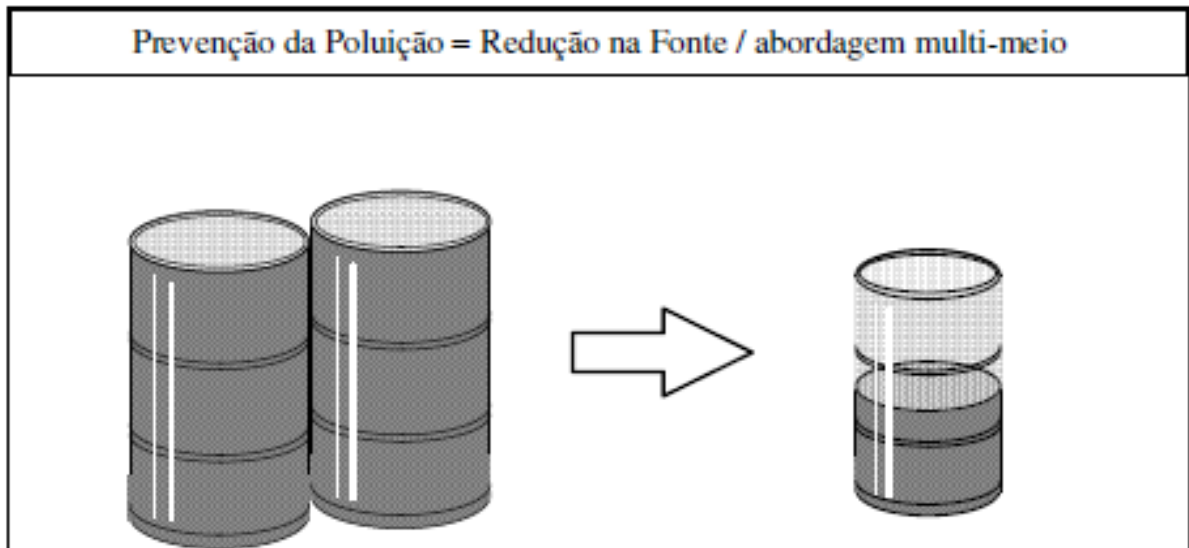
Desta maneira a prevenção da poluição visa eliminar ou reduzir o lançamento de resíduos no solo, água e ar no lugar de simplesmente transferir ou distribuir os poluentes entre esses meios (abordagem multi-meio). E na visão mais contemporânea e holística da eficiência econômica e ecológica (eco-eficiência), o termo resíduo passa a englobar a energia entrópica, as dissipações, perdas de calor e outros fatores de ineficiência termodinâmica do sistema de manufatura (ELIZEU, 2002).

A seguir são apresentados os conceitos básicos de maior relevância:

- ✓ Resíduos: Toda matéria e substância no estado sólido, líquido ou gasoso, poluente ou potencialmente poluente, subprodutos não aproveitados de origem industrial, e rejeitos que são descartados sob forma de efluentes líquidos, emissão de resíduos gasosos ou resíduos sólidos e semi-sólidos que, necessariamente, devem ser tratados, estocados ou depositados adequadamente (RIO DE JANEIRO, 1992).
- ✓ Prevenção da Poluição: Designada internacionalmente por “P2”, ou redução na fonte, refere-se a qualquer prática, processo, técnica ou tecnologia que vise à redução ou eliminação em volume, concentração e/ou toxicidade dos resíduos (incluindo emissões fugitivas) na fonte geradora. Inclui modificações nos equipamentos, reformulação ou replanejamento de produtos, substituição de matéria-prima e melhorias nos gerenciamentos administrativos e técnicos da empresa, resultando em aumento de eficiência no uso dos insumos (matérias-primas, energia, água, etc.). As práticas de reciclagem fora do processo, tratamento e disposição dos resíduos gerados não são consideradas atividades de Prevenção à Poluição, uma vez que não implicam na redução da quantidade de resíduos e/ou poluentes na fonte geradora, mas atuam de forma corretiva sobre os efeitos e as conseqüências oriundas do resíduo gerado (EPA,1990). Outra distinção fundamental entre os conceitos de P2 e Redução de resíduos (R2) está ligada às práticas de reciclagem fora do processo, reaproveitamento e reuso, as quais estão abrangidas no conceito de Redução de Resíduos, embora não sejam consideradas atividades de Prevenção à Poluição. Uma visualização simbólica destas distinções entre os conceitos de Prevenção da Poluição e Redução de Resíduos ou Minimização de Resíduos é apresentada nas figuras 2 e 3, a seguir:

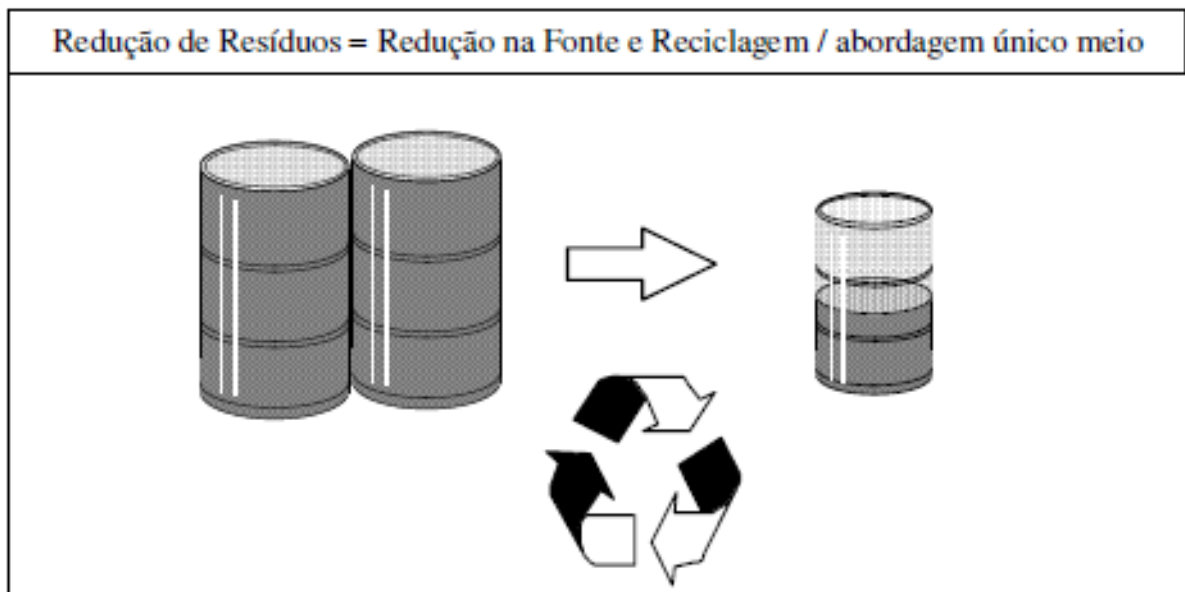


Figura 2- Visualização simbólica do conceito de Prevenção de Poluição (P2)



Fonte: (Braile, 2002).

Figura 3- Visualização simbólica do conceito de Redução de Resíduos (R2).



Fonte: (Braile, 2002).

- ✓ Redução de Resíduos (R2): Significa a redução, a um nível viável, de qualquer resíduo sólido ou perigoso que seja gerado ou subseqüentemente tratado, estocado ou disposto. As técnicas de Redução de Resíduos focam em atividades de redução na fonte ou reciclagem que reduzem o volume ou toxicidade do resíduo, ou ainda sua reutilização, diminuindo o volume total e/ou o grau de poluição dos resíduos (RIO DE JANEIRO, 1992).

Em 1989 o PNUMA, criou o termo Produção mais Limpa (P+L). Outros termos em uso inclui: tecnologia limpa, produção limpa, prevenção de resíduos, química verde, minimização de resíduos, eco-eficiência, etc.

Não existe consenso universal sobre o que esses termos significam, mas pode-se dizer que os preceitos da P+L coadunam-se com os princípios da P2, tendo sido introduzidos como uma solução transitória rumo ao desenvolvimento sustentável, face ao reconhecimento de que há muito que pode ser feito enquanto não for introduzido, nos sistemas de manufatura, uma nova geração de tecnologias e processos ambientalmente mais adequados, o que levará ainda muitos anos (UNIDO, 1995).

- ✓ Minimização de Resíduos: Inclui qualquer prática ambientalmente segura de redução na fonte, reuso reciclagem e recuperação de materiais e/ou do conteúdo energético dos resíduos, visando a reduzir a quantidade ou volume dos resíduos a serem tratados e adequadamente dispostos (CETESB, 1998).
- ✓ Reuso: É qualquer prática ou técnica que permite a reutilização do resíduo, sem que o mesmo seja submetido a um tratamento que altere as suas características físico-químicas (CETESB, 1998).
- ✓ Produção Mais Limpa (P+L): É a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva integrada aos processos, produtos e serviços para aumentar a eco-eficiência e reduzir os riscos ao homem e ao meio ambiente. Produção mais limpa requer mudanças de atitude, garantia de gerenciamento ambiental responsável, criação de políticas nacionais direcionadas e avaliação de alternativas tecnológicas (Conferência das Américas, 1998). A P+L aplica-se a:
  - ⇒ Processos Produtivos: conservação de matérias-primas e energia, eliminação de matérias-primas tóxicas e redução da quantidade e toxicidade dos resíduos e emissões;
  - ⇒ Produtos: redução dos impactos negativos ao longo do ciclo de vida de um produto, desde a extração de matérias-primas até a sua disposição final;
  - ⇒ Serviços: incorporação das preocupações ambientais no planejamento e entrega dos serviços.
- ✓ Prevenção de Resíduos (PR): Representa a ação preventiva que evitam a geração de resíduos no sistema global de produção, segundo o conceito do berço ao túmulo, em cujo contexto o termo resíduo é usado para caracterizar todo e qualquer tipo de material – líquido sólido ou gasoso - que não

representem o produto-fim do sistema de manufatura industrial (FURTADO, 1998). Assim, os resíduos poderão:

Estar ou não previstos no processo de manufatura industrial;

Ser ou não gerados ou despejados durante o processo ou;

Ser ou não utilizados como parte do *produto-fim* da empresa.

Por isso, o termo *resíduo* engloba a energia entrópica, as dissipações, perdas de calor e outros fatores de ineficiência termodinâmica do sistema de manufatura (FURTADO, 1998). No modelo de PR preconizado por Furtado (1998), o qual se contrapõe ao controle e tratamento de poluição na fábrica, realizado no fim do processo produtivo, os novos padrões industriais serão representados por:

⇒ Melhoria da eficiência do processo, através da diminuição dos custos com água e energia, dos custos de matérias primas, de redução das pressões extrativas sobre as fontes naturais renováveis e dos custos para tratamento de efluentes;

⇒ Redução do consumo (e conseqüente custo) de matérias-primas, através do uso de materiais simples e renováveis, de menor consumo material e energético, com reaproveitamento de materiais reciclados;

⇒ Redução de resíduos gerados, ao invés do tratamento e contenção para conformidade aos limites das regulamentações ambientais locais;

⇒ Redução do potencial de poluição de determinado processo ou produto;

⇒ Melhoria das condições de trabalho nas fábricas, em conformidade com as exigências legais e medidas pró-ativas (antecipadas), envolvendo (a) aspectos de segurança e saúde no trabalho e (b) prevenção de riscos em cada unidade, operação ou no do processo produtivo, como um todo;

⇒ Redução dos custos de tratamento de resíduos, através de modificações no processo e no fechamento de ciclos nas operações industriais.

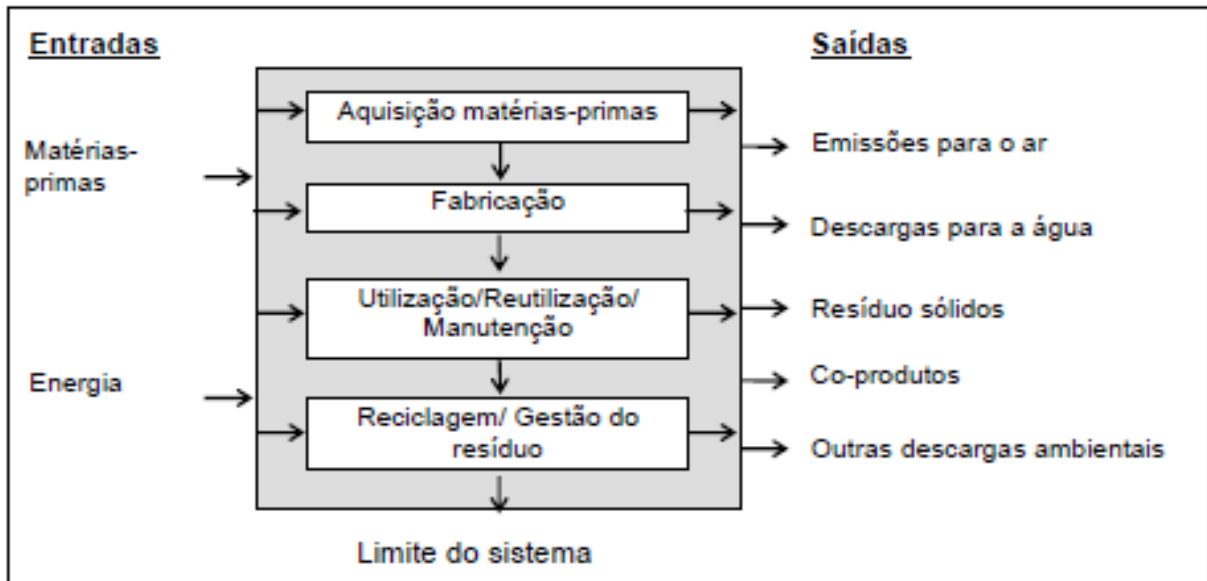
- ✓ Princípio da Precaução: É o 15º princípio da Declaração do Rio sobre Ambiente e Desenvolvimento mediante o qual “as nações, de acordo com as suas capacidades, devem aplicar de forma ampla, medidas de precaução a fim de proteger o ambiente. Onde existam ameaças de riscos graves ou irreversíveis não será utilizada a falta de certeza científica total como razão para o adiamento de medidas eficazes em termos de custos para prevenir a degradação ambiental” (FERRÃO, 1998).

- ✓ Eco- Eficiência: O WBCSD<sup>3</sup> reivindica a criação do conceito de eco-eficiência, em 1992, e patrocinou a elaboração de um guia para medição do desempenho da organização, no qual eco-eficiência representa a “entrega de bens e serviços em bases preço-competitivo, de maneira a satisfazer as necessidades humanas, trazer a qualidade de vida e, ao mesmo tempo, reduzir, progressivamente, os impactos ecológicos e a intensidade de uso de recursos, através do ciclo-de-vida, pelo menos no nível estimado da capacidade de sustentação (*carrying*) da Terra” (FURTADO, 2002). Segundo o Guia do WBCSD, a eco-eficiência resulta da equação Valor de produto ou serviço (numerador), dividido pela Influência ambiental (denominador), traduzindo a proposta de fazer ou produzir mais, com menos uso de recursos ambientais a partir de processos economicamente mais eficientes (WBCSD, 2000).
- ✓ Análise de Ciclo de Vida: A Análise de Ciclo de Vida (ACV) é a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos potenciais impactos ambientais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. O termo “ciclo de vida” refere-se à maioria das atividades no decurso da vida do produto desde a sua fabricação, utilização, manutenção, e deposição final; incluindo aquisição de matéria-prima necessária para a fabricação do produto. A figura 4 ilustra os possíveis estágios de ciclo de vida que podem ser considerados numa ACV e as típicas entradas/saídas medidas (EPA, 2001c).

---

<sup>3</sup> Organização não governamental – sediada em Genebra – e formada pela aliança (*coalition*) internacional de empresas de vários países, em grande parte corporações transnacionais.

Figura 4- Estágios do ciclo de vida do produto.



Fonte: (EPA, 2001c).

Num estudo ACV de um produto ou serviço, todas as extrações de recursos e emissões para o ambiente são determinadas, quando possível, numa forma quantitativa ao longo de todo o ciclo de vida, desde que "nasce" até que "morre", sendo com base nestes dados, que são avaliados os impactos nos recursos naturais, no ambiente e na saúde humana.

O processo ACV é uma sistemática de abordagem composta por quatro componentes: definição de objetivos; análise de inventário; análise de impacto; e, interpretação dos resultados (ISO 14040: 1997).

- ⇒ Definição de Objetivos: Define e descreve o produto, processo ou atividade. Estabelece o contexto no qual a avaliação é para ser feita e identifica os limites e efeitos ambientais a serem revistos para a avaliação.
- ⇒ Análise de Inventário: Identifica e quantifica a energia, água e materiais utilizados e descargas ambientais (por exemplo: emissões para o ar, deposição de resíduos sólidos, descargas de efluentes líquidos).
- ⇒ Análise de Impacto: Analisa os efeitos humanos e ecológicos da utilização de energia, água, e materiais e das descargas ambientais identificadas na análise de inventário.
- ⇒ Interpretação: Avalia os resultados da análise de inventário e análise do impacto para selecionar o produto preferido, processo ou serviço com uma compreensão clara das incertezas e suposições utilizadas para gerar os resultados.

A metodologia ACV tem numerosas aplicações, desde o desenvolvimento de produtos, passando pela rotulagem ecológica e regulação, até a definição de cenários de prioridade e de política ambiental.

A metodologia ACV é a única que permite identificar a transferência de impactos ambientais de um meio para outro (por exemplo: a eliminação de emissões atmosféricas pode ser feita à custa do aumento das emissões de efluentes líquidos) e/ou de um estágio de ciclo de vida para outro (por exemplo: da fase de aquisição de matérias-primas para a fase de utilização).

Na elaboração de um estudo de ACV, os pesquisadores podem (EPA, 2001c):

- ⇒ Desenvolver uma sistemática avaliação das conseqüências ambientais associadas com um dado produto;
- ⇒ Analisar os balanços (ganhos/perdas) ambientais associados com um ou mais produtos/processos específicos de modo a que os visados (estado, comunidade, etc.) aceitem uma ação planejada;
- ⇒ Quantificar as descargas ambientais para o ar, água, e solo relativamente a cada estágio do ciclo de vida e/ou processos que mais contribuem;
- ⇒ Assistir na identificação de significantes trocas de impactos ambientais entre estágios de ciclo de vida e o meio ambiental;
- ⇒ Avaliar os efeitos humanos e ecológicos do consumo de materiais e descargas ambientais para a comunidade local, regional e mundial;
- ⇒ Comparar os impactos ecológicos e na saúde humana entre dois ou mais produtos/processos rivais ou identificar os impactos de um produto ou processo específico;
- ⇒ Identificar impactos em uma ou mais áreas ambientais específicas de interesse.

A elaboração de um estudo ACV necessita normalmente de muitos recursos e pode levar muito tempo. Deste modo, os recursos financeiros deverão ser balanceados com os benefícios previsíveis do estudo. O estudo ACV não determina qual produto ou processo é o mais caro ou funciona melhor.

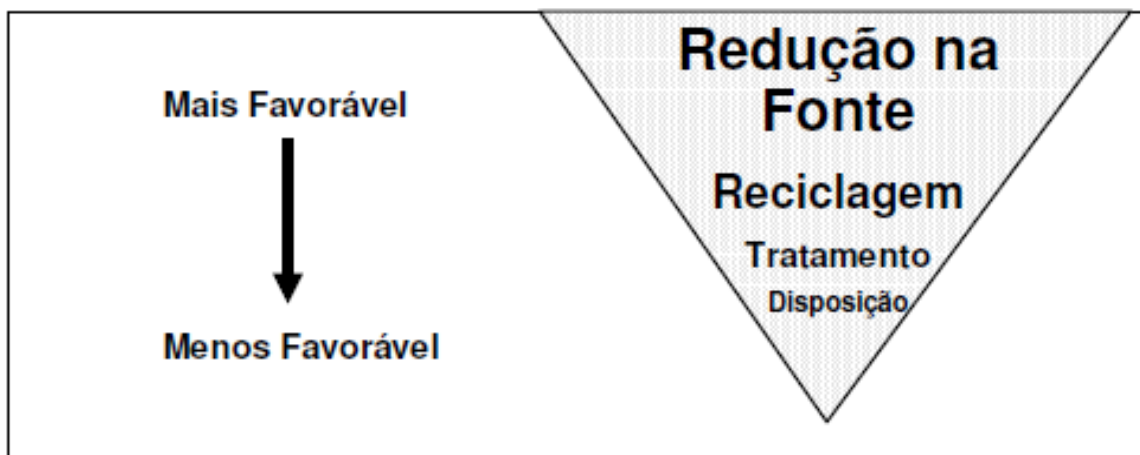
### 2.3.2 Níveis de Atuação da Prevenção da Poluição

Segundo Elizeu, 2002 de acordo com as boas práticas internacionais de gestão ambiental, a hierarquia em ordem descendente de preferência como opção recomendável de gestão de resíduos é a seguinte:

- (1) Redução na fonte
- (2) Reciclagem no processo
- (3) Reciclagem na área da empresa
- (4) Reciclagem fora da empresa
- (5) Tratamento dos resíduos de modo a torná-los menos perigosos
- (6) Disposição final segura

Assim a prevenção da poluição (ou redução na fonte) representa a primeira etapa na hierarquia de opções para a gestão de resíduos, conforme esquematizado na figura 5 a seguir:

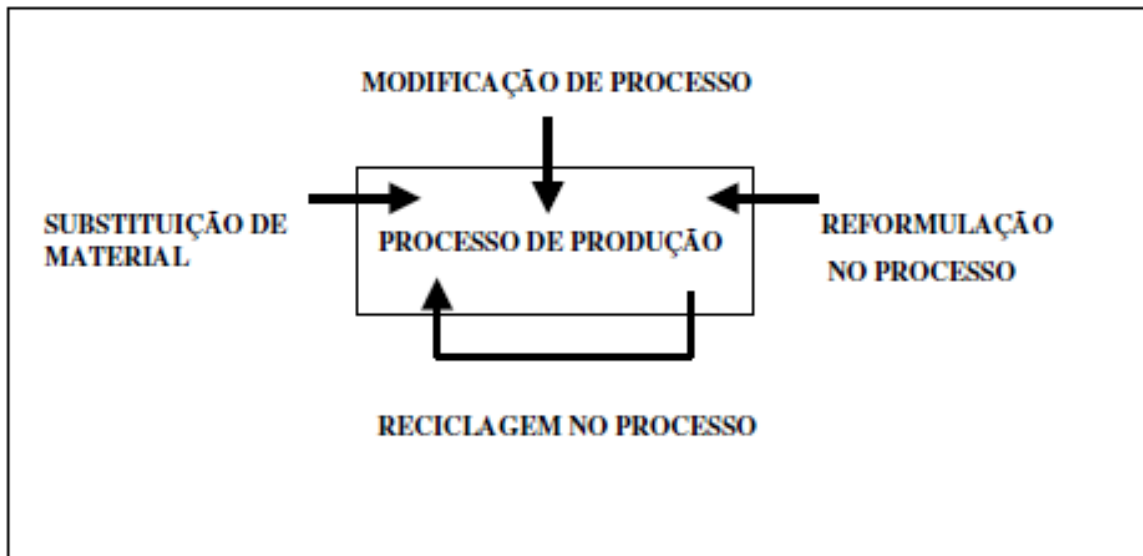
Figura 5- Hierarquia de opções para a gestão de resíduos.



Fonte: (Braille, 2002).

A prevenção da poluição inclui: (1) modificações nos equipamentos, reformulação ou re-planejamento de produtos; (2) substituição de matéria-prima ou materiais auxiliares, e (3) melhorias nos gerenciamentos administrativos e técnicos da empresa, resultando em aumento de eficiência no uso dos insumos (matérias-primas, energia, água, etc.). A figura 6 ilustra diversos exemplos de mudanças tecnológicas nas quais se empenham os programas de prevenção de poluição.

Figura 6- Exemplos de mudanças tecnológicas para a Prevenção da Poluição.



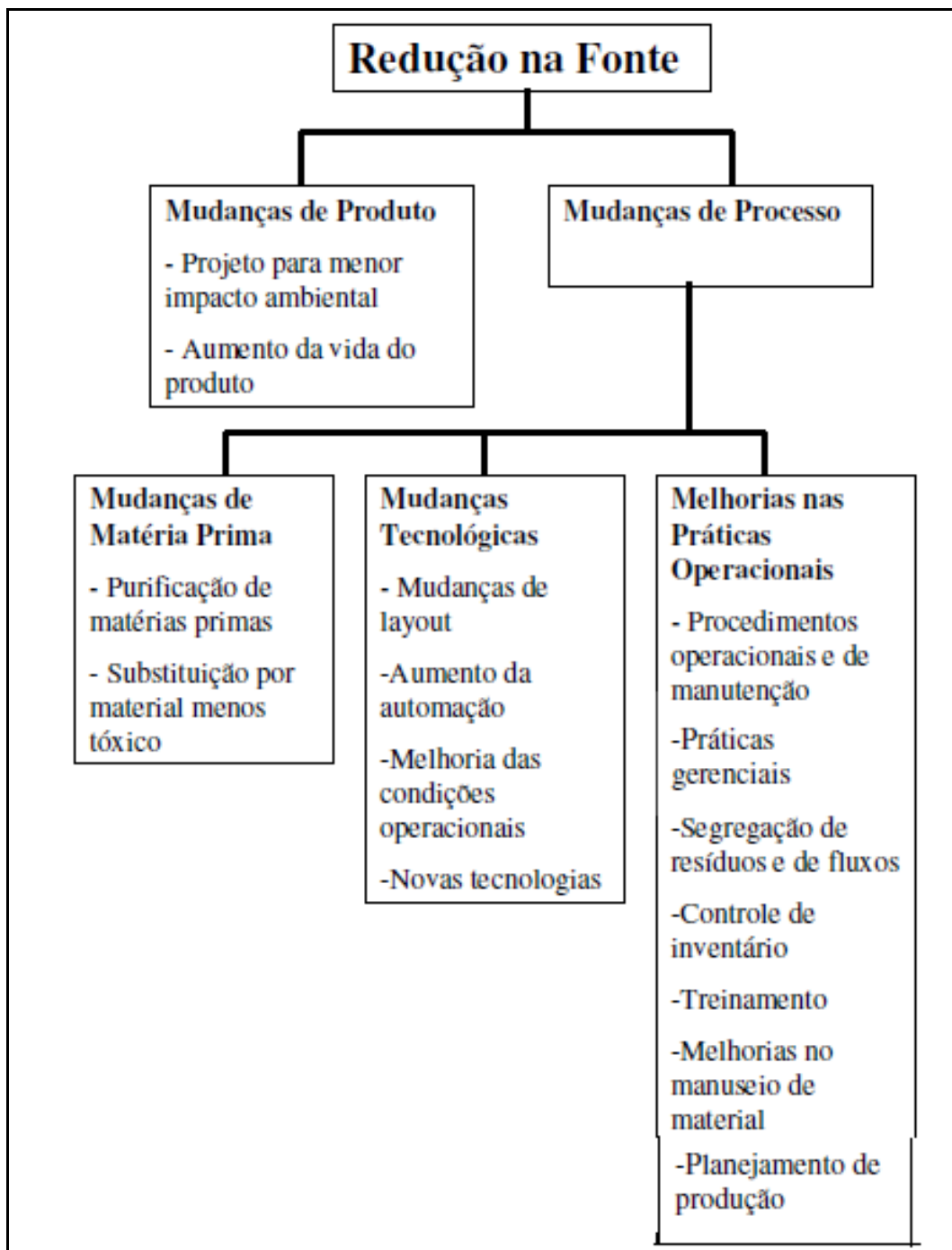
Fonte: (Braile, 2002).

É importante salientar que as práticas de reciclagem fora do processo, tratamento e disposição dos resíduos gerados não são consideradas atividades de Prevenção à Poluição, uma vez que não implicam na redução da quantidade de resíduos e/ou poluentes na fonte geradora, mas atuam de forma corretiva sobre os efeitos e as conseqüências oriundas do resíduo gerado (EPA, 1990).

Na figura 7, são apresentados diversos exemplos típicos de oportunidades de redução de resíduos na fonte geradora:



Figura 7- Exemplos típicos de oportunidades de redução na fonte.



Fonte: (EPA, 1992).

### 2.3.3 Programas de Prevenção da Poluição – Avaliação

Como subsídios à elaboração de uma proposta metodológica para a indústria Petroquímica, foram pesquisados e avaliados relevantes programas de prevenção da poluição, desenvolvidos por entidades e organismos de reconhecida reputação

nacional e internacional, tais como EPA, CETESB, Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM), entre outros, sendo esta última a quem se pode creditar, no Brasil, o pioneirismo nesta área, pois vem aplicando e promovendo desde 1991 o Programa Atuação Responsável<sup>®</sup>, uma iniciativa voluntária da indústria química que possui características únicas (ABIQUIM, 2001).

⇒ Prevenção da Poluição no Programa Atuação Responsável: O Programa Atuação Responsável, versão brasileira do *Responsible Care*<sup>®</sup>, marca registrada da ABIQUIM, é um programa de autogestão de iniciativa da indústria química brasileira e mundial, destinada a demonstrar seu comprometimento voluntário na melhoria de seu desempenho em saúde, segurança e proteção ambiental.

É baseado em Princípios Diretivos e utiliza Códigos de Práticas Gerenciais para sua aplicação. Sua execução é direcionada por Comissões de Lideranças Empresariais, constituídas no âmbito da ABIQUIM e instaladas nas principais áreas de concentração de empresas químicas no Brasil, ouvidos os Conselhos Comunitários Consultivos, estes formados por lideranças locais.

A implantação do programa nas empresas é acompanhada com o uso de indicadores de desempenho e de avaliações periódicas. É igualmente parte do programa a difusão de seus conceitos para as cadeias produtivas, que incluem os prestadores de serviço que atendem à indústria química.

O Programa consiste em um conjunto de 6 Códigos de Práticas Gerenciais (1-Segurança de Processos; 2-Saúde e Segurança do Trabalhador; 3-Proteção Ambiental; 4- Transporte e Distribuição; 5-Diálogo com a Comunidade e Preparação para o Atendimento a Emergências; 6-Gerenciamento de Produtos) compreendendo ao todo 116 práticas gerenciais, das quais 33 estão relacionadas ao meio ambiente, sendo que destas, apenas 15 fazem parte do Código de Proteção Ambiental em si e as outras 18 estão espalhadas pelos demais Códigos (ABIQUIM, 2001).

A aplicação dos preceitos da Prevenção da Poluição são encontradas em 2 (duas) Práticas Gerenciais integrantes do Código de Proteção Ambiental publicado ABIQUIM (1995):

Prática Gerencial 5 – Prioridade para Redução na Geração;

Prática Gerencial 6 – Redução Constante da Geração.

A Prática Gerencial 5 prevê o estabelecimento de prioridades e objetivos para a redução na geração de resíduos, efluentes e emissões, e a preparação do respectivo planejamento que deverá ser comunicado à direção da empresa.

No estabelecimento dessas prioridades e objetivos, deverão ser avaliados potenciais impactos ao meio ambiente e as preocupações da comunidade. O entendimento dessas preocupações exige um diálogo constante com funcionários e representantes da comunidade.

A Prática Gerencial 6 tem como principal objetivo o estabelecimento de um programa contínuo de redução da geração de resíduos, efluentes e emissões. A seqüência recomendada nessa tarefa de redução está assim estabelecida:

- 1° Redução na fonte (incluindo reciclagem em circuito fechado);
- 2° Reciclagem / Reuso / Regeneração;
- 3° Tratamento.

Evidenciam-se, portanto, duas características-chave do modelo gerencial de Prevenção da Poluição no âmbito do Programa Atuação Responsável: a abordagem holística “multi-meio” e a participação da comunidade no processo, através do painel público consultivo, que se constitui uma singularidade dentre todos os programas estudados.

⇒ Federal Facility Pollution Prevention Planning Guide (EPA, 1994a): Segundo agência federal norte-americana de proteção ambiental foi elaborado um documento, durante a gestão do Presidente Bill Clinton, como demonstração pública de seu compromisso em demonstrar, no serviço público federal, um exemplo, para a nação americana, de conformidade com as práticas (tornadas então obrigatórias) de P2, a partir do reconhecimento publicamente assumido de que:

1° O Governo Federal é o maior consumidor norte-americano de matérias primas, energia, água e produtos;

2° Os custos de materiais e do gerenciamento dos resíduos perigosos gerados, os custos de controlar as descargas no ar e na água, e os custos da remediação requerida pela disposição inadequada dos resíduos, são crescentes, representando mais ônus para cada cidadão americano. Para conseguir a Redução na Fonte, o guia preconiza as seguintes atividades-chave:

- ⇒ Aumento da eficiência dos processos: realizando-se a mesma tarefa com menos energia ou materiais, desenvolvendo-se novos sistemas ou modificando-se os existentes;
- ⇒ Substituição de materiais: trocando-se produtos químicos perigosos por alternativas de menor toxicidade;

- ⇒ Controle de inventário: prevenindo-se a expiração da validade e a deterioração de produtos, através do aperfeiçoamento da gestão de estoques;
- ⇒ Manutenção preventiva: checando-se rotineiramente e reparando-se vazamentos de modo a manter os equipamentos em boas condições de trabalho, e aumentando sua vida útil;
- ⇒ Melhorar *housekeeping*: manter a unidade limpa e organizada, de modo a reduzir as probabilidades de respingos e vazamentos de produtos químicos.

O plano de Prevenção da Poluição desenvolve-se em 7 (sete) passos:

- ⇒ Estabelecer metas de P2 de 50% de redução do lançamento de produtos químicos para tratamento e disposição no período de novembro de 1994 até dezembro de 1999;
- ⇒ Obter o comprometimento gerencial;
- ⇒ Montar uma equipe de P2;
- ⇒ Desenvolver um cronograma;
- ⇒ Realizar um levantamento das oportunidades de P2;
- ⇒ Desenvolver e aplicar critérios de priorização das atividades/ oportunidades;
- ⇒ Realizar uma revisão gerencial.

Bem elaborado, este guia inspirou-se no *Facility Pollution Prevention Guide* (EPA, 1992a) que é encontrado como precursor e fonte de referência e citação frequente em outros guias de prevenção da poluição que a ele sucederam.

⇒ A Practical Guide to Pollution Prevention Planning (EPA, 1992b): Este guia foi resultado de um esforço independente de dois engenheiros americanos, em cooperação com a agência norte-americana de proteção ambiental – EPA, e com o Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Cincinnati, como suplemento de uma Conferência realizada em Outubro de 1992, em Chicago, Illinois, intitulada *Pollution Prevention for the Iron and Steel Industry*. O guia, apesar de haver sido submetido a uma revisão do EPA, e por um comitê formado por empresas-membros do Instituto do Ferro e Aço, não reflete necessariamente a visão e as políticas do EPA, muito embora seja muito consistente com a legislação americana relativa à prevenção da poluição e à redução de resíduos, então

recentemente promulgadas naquele país. Embora direcionado para a indústria de ferro e aço, o guia é rico em conceituações e idéias gerais e específicas dos autores para o planejamento de programas de P2 na indústria. O guia dedica um capítulo à análise econômica de projetos de prevenção da poluição, mostrando que, devido às peculiaridades dos benefícios a ela associados, freqüentemente esta análise não se enquadra facilmente nos tradicionais estudos de viabilidade econômica, além do que os custos ambientais indiretos e os passivos ambientais quase sempre estão ocultos na contabilidade convencional. Para superar estas dificuldades, preconiza a aplicação dos mecanismos de contabilidade de que discorre sobre as características mais importantes, tais como: levantamento de custo expandido, horizonte de tempo maior, indicadores financeiros de longo prazo e alocação direta de custos aos processos e produtos.

⇒ Manual de Implementação de um Programa de P2 (CETESB, 2000): É um material de apoio fundamentado no *Facility Pollution Prevention Guide* (EPA, 1992a), desenvolvido pela CETESB para auxiliar qualquer organização interessada em implantar um programa de prevenção da poluição, por meio de uma metodologia que inclui: comprometimento da empresa, definição de equipe, disseminação de informações, levantamento de dados, definição de indicadores de desempenho e identificação de oportunidades de Prevenção da Poluição, dentre outras etapas. A metodologia é apresentada de forma clara e simples, e com citação de exemplos.

⇒ Pollution Prevention Assessment Manual (McBEE, 1998): É um guia desenvolvido e adotado institucionalmente pelo Estado do Texas para auxiliar os geradores de grande porte e os responsáveis pela elaboração dos relatórios de inventários de emissões de resíduos tóxicos (conhecidos por *Toxic Release Inventory*, obrigatórios naquele país) na elaboração dos planos de redução na fonte e minimização de resíduos, previstos na legislação federal americana. É um manual que reúne farta argumentação destinado à sensibilização dos geradores de resíduos quanto aos benefícios da abordagem preventiva, citando a cada argumento um caso de sucesso a ele associado. O manual explora, por exemplo, um interessante aspecto da legislação americana que é o incentivo à adoção de medidas de redução na fonte, através de um mecanismo de relaxamento das exigências em função do volume de resíduos dos geradores. Estes, além de estarem dispensados de apresentar o relatório de inventário de emissões de resíduos tóxicos, desfrutam de mais liberdade quanto à permissão de adotarem políticas de estoque de prazo mais longo, e de

menor rigor em programas de prevenção da poluição, reduzindo-se a carga regulatória, freqüência de inspeções, relatórios e custos (McBEE, 1998). A produção mais limpa, portanto, deve estar no centro do pensamento estratégico de qualquer empresa. De um lado, ela traz, comprovadamente, benefícios econômicos: evita perdas, quase sempre danosas ao meio ambiente, e reduz custos – o que, por sua vez, influencia a posição competitiva do negócio. Do outro lado, a empresa que produz limpo tem sua imagem em harmonia com a comunidade e a cidadania – uma associação poderosa capaz de reforçar a posição competitiva.

O ponto de partida da produção mais limpa é, dessa forma, internalizar na empresa a percepção de vantagens inerentes à mudança de procedimentos e atitudes. Kinlaw (1997) sintetiza a definição de produção mais limpa do programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, como a melhoria contínua dos processos industriais, produtos e serviços, visando:

- ⇒ Reduzir o uso de recursos naturais;
- ⇒ Prevenir na fonte a poluição do ar, da água e do solo;
- ⇒ Reduzir a geração de resíduos na fonte, de modo a minimizar os riscos aos seres humanos e ao meio ambiente.

Uma produção mais limpa geralmente não exige qualquer investimento adicional, podendo ser obtida com as instalações existentes. O que se faz necessário é a atenção da gerência e o envolvimento da força de trabalho.

Só no despertar de um interesse novo e criativo na forma como se usa a água, a energia e os materiais, é que as pessoas podem ter novas idéias de melhoria de processos, como separação de resíduos descartados, melhor monitoramento de emissões e processos, reciclagem, despejo de resíduos e exigências mais rigorosas com fornecedores.

Hoje, a tendência mundial, em especial nos países altamente industrializados, está baseada em:

- ✓ Redução da geração na fonte, geração zero ou minimização, que pode variar desde a alteração de práticas operacionais até alterações tecnológicas no processo produtivo;
- ✓ Reutilização de resíduos, que pode variar da simples utilização da folha de papel dos dois lados, passando pela reutilização de peças e componentes usados de produtos até profundas alterações no processo produtivo;

- ✓ Reciclagem de resíduos, que pode ser dividida em reciclagem interna e externa, em que a primeira utiliza os resíduos como matéria-prima a outro processo produtivo, e a segunda, além desta utilização, pode aproveitar os materiais contidos nos resíduos e transformá-los em outro produto;
- ✓ Outro processo utilizado é a incineração de resíduos com aproveitamento de calor que visa à redução de volume e toxicidade dos resíduos, bem como pode ser obtida a recuperação energética dos materiais contidos nos mesmos.

A implantação de monitoramento nos locais de disposição de resíduos e prevenção e controle da poluição ambiental são a última fase e opção que se deve adotar em um programa de produção mais limpa.

Conforme Frosch (1997), os materiais que antes eram residuais, ao invés de serem automaticamente enviados para o lixo, passam a ser percebidos como suprimento de matéria prima e, portanto, fontes úteis de material e energia, para outros processos e produtos industriais.

Segundo Gerber (1999), a tendência brasileira é intensificar a reciclagem dos rejeitos com uma maior divulgação das bolsas de resíduos e segregação do lixo proveniente das indústrias do lixo proveniente das residências, com tratamento respectivo. Destaca ainda, a necessidade de investimentos em tecnologia por parte das indústrias e a necessidade de se aumentar o número de centrais de tratamento de resíduos, minimizando desta forma o volume de resíduos hoje existentes e maximizando os ganhos financeiros que podem ser obtidos através do uso racional das matérias-primas e insumos industriais.

## **2.4 Tecnologias de Tratamento e Disposição de Resíduos Sólidos Industriais**

De acordo com Brasil (2004) os métodos utilizados para o tratamento e disposição final de resíduos sólidos industriais são:

**2.4.1 Remediação-** É o processo de tratamento que em consiste na melhoria ou recuperação de solos prejudicados e poluídos. Entende-se por remedição as práticas de contenção química e obras de engenharia. Este processo pode ser “*in situ*” ou “*ex situ*” (BORGES, 2007). Dentre os métodos de remediação podemos citar

alguns: a Biorremediação; Injeção de Ar (*Air Sparging*); Tecnologias Térmicas (*Thermal Enhanced*).

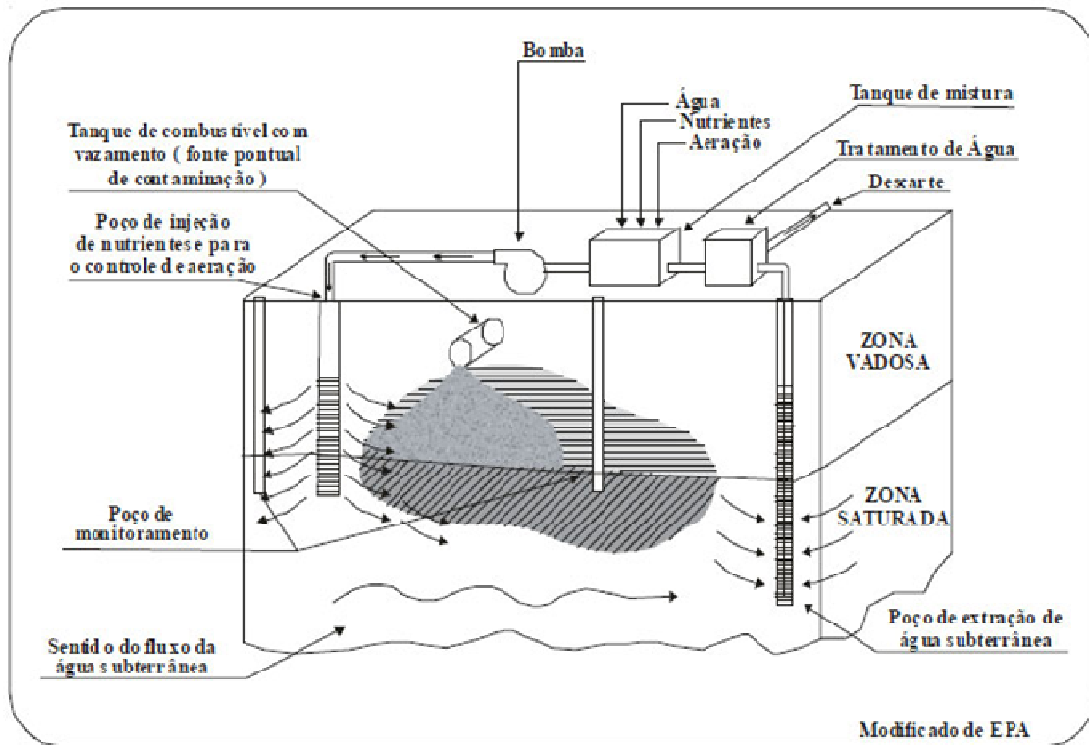
**2.4.1.1 Biorremediação-** Utilização de microorganismos na degradação de contaminantes em solo e água subterrânea. Microorganismos estes que podem ser adicionados ao meio ou estimulados ao crescimento por meio de adição de nutrientes. A atividade microbiana é o fator preponderante na determinação da velocidade e extensão da degradação dos pesticidas no solo (SILVA, 2001a). Há evidências de que para alguns compostos orgânicos a biodegradação acelerada ocorre após uma alta pressão seletiva durante o período de incubação (RODRIGUES, et al., 2010).

Consórcios microbianos de ocorrência natural têm sido utilizados em uma variedade de processos de biorremediação, tais informações podem apoiar análises e auxilia na avaliação da eficácia da biorremediação e na formulação de estratégias que possam acelerar a biorremediação (WATANABE, 2001).

A figura 8 apresenta o esquemático do processo de bioremediação.



Figura 8- Bioremediação.



Fonte: (Adaptado de EPA<sup>1</sup>, 2003).

Segundo a CETESB (2007), a tabela 2 apresenta as seguintes vantagens e desvantagens da biorremediação:

Tabela 2- Vantagens e desvantagens do processo de biorremediação.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Habilidade dos microrganismos de biodegradar substâncias perigosas ao invés de meramente transferir o contaminante de um meio para outro;</li> <li>-Eficiente em meios homogêneos e de textura arenosa;</li> <li>-Baixo custo comparativamente a outras técnicas de remediação, se os compostos forem facilmente degradáveis;</li> <li>-A tecnologia pode ser considerada como destrutiva dos contaminantes;</li> <li>-Permite atingir concentrações alvo ambientalmente aceitáveis para o solo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Para os compartimentos água e ar, maior dificuldade de aclimação dos microrganismos;</li> <li>-Limitações de escala para aplicação <i>in situ</i>;</li> <li>- Biodisponibilidade na zona saturada;</li> <li>-Limitações em função de heterogeneidades em sub-superfície;</li> <li>-Possibilidade de colmatação do meio poroso devido ao crescimento de biomassa;</li> <li>-Inibição por compostos competidores;</li> <li>Possibilidade de formação de subprodutos tóxicos.</li> </ul>

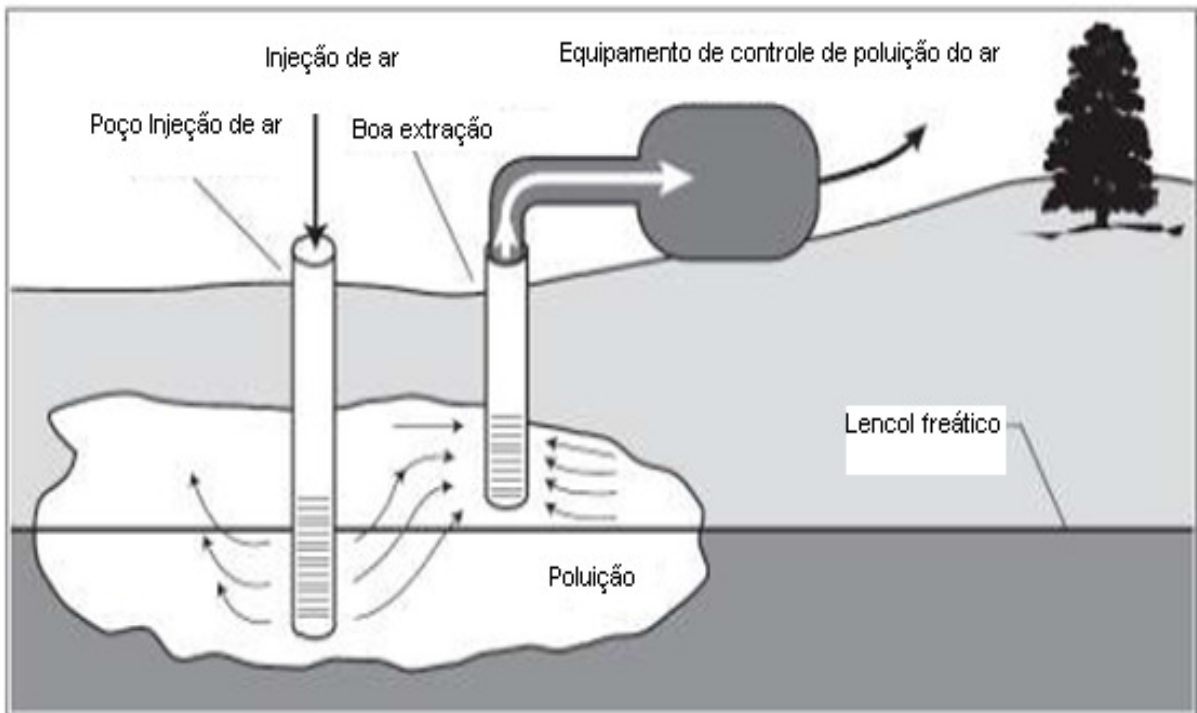
Fonte: (CETESB, 2007).

<sup>1</sup> EPA- Environmental Protection Agency

Exemplo de aplicação: Utilizados para solo e águas subterrâneas, contaminados por hidrocarbonetos do petróleo e compostos orgânicos clorados.

**2.4.1.2 Injeção de Ar (*Air Sparging*)**- Utiliza o insuflamento de ar ou oxigênio na zona saturada do solo com o objetivo de promover uma espécie de "stripping" na água subterrânea e desprendendo os composto orgânicos voláteis a serem captados em superfície geralmente por sistema de extração de vapor. A injeção de ar no solo também promove a biodegradação dos contaminates, ou seja , biorremediação pela atividade bacteriana aeróbia (JOHNSTON et al.,1998), conforme a figura 9 é apresentando um sistema de injeção de ar.

Figura 9- Sistema de injeção de ar



Fonte: (Adaptado de EPA, 2001a).

Segundo a tabela 3, CETESB (2007), as principais vantagens e desvantagens deste método são:

Tabela 3- Vantagens e desvantagens do processo de injeção de ar.

Vantagens	Desvantagens
-Permite atingir concentrações alvo ambientalmente aceitáveis para o solo. Utilização de equipamentos de fácil aquisição e instalação; -Minimização da extração de vapores, com redução dos custos de seu tratamento; -Pode ser implantado sem causar grande impacto na operação da área; -Atua em áreas de difícil acesso.	- a sua não aplicabilidade onde as concentrações de contaminantes impedem a biodegradação ou em solos com baixa permeabilidade, não possibilitando que metas de remediação muito baixas sejam atingidas

Fonte: (CETESB, 2007).

Exemplo de aplicação: A injeção de ar no solo promove a biodegradação dos solos contaminados por hidrocarbonetos do petróleo e compostos orgânicos clorados do solo e/ou da água subterrânea pela atividade bacteriana aeróbia.

**2.4.1.3 Tecnologias Térmicas (*Thermal Enhanced*)-** Nos métodos de tratamento térmico *in situ*, geralmente, são classificados os processos de mobilização de contaminantes do solo ou aquífero, a partir do aquecimento do local onde se encontra a pluma dos compostos tóxicos. O fornecimento do calor induz a migração dos compostos através do solo até os poços de extração dispostos no local. O calor também pode destruir ou induzir a evaporação de determinados tipos de produtos químicos (ABDANUR, 2005).

De acordo com suas temperaturas o tratamento pode ser classificado como baixa temperatura (100 a 350 °C) e temperatura alta (350 a 600°C) dessorção térmica, envolvendo a separação física de contaminantes do solo e destruição térmica (600 a 1000 °C), envolvendo a modificação química de contaminantes (FALCIGLIA, GIUSTRA E VAGLIASINDI, 2011).

A figura 10 apresenta o esquema de injeção de vapor.

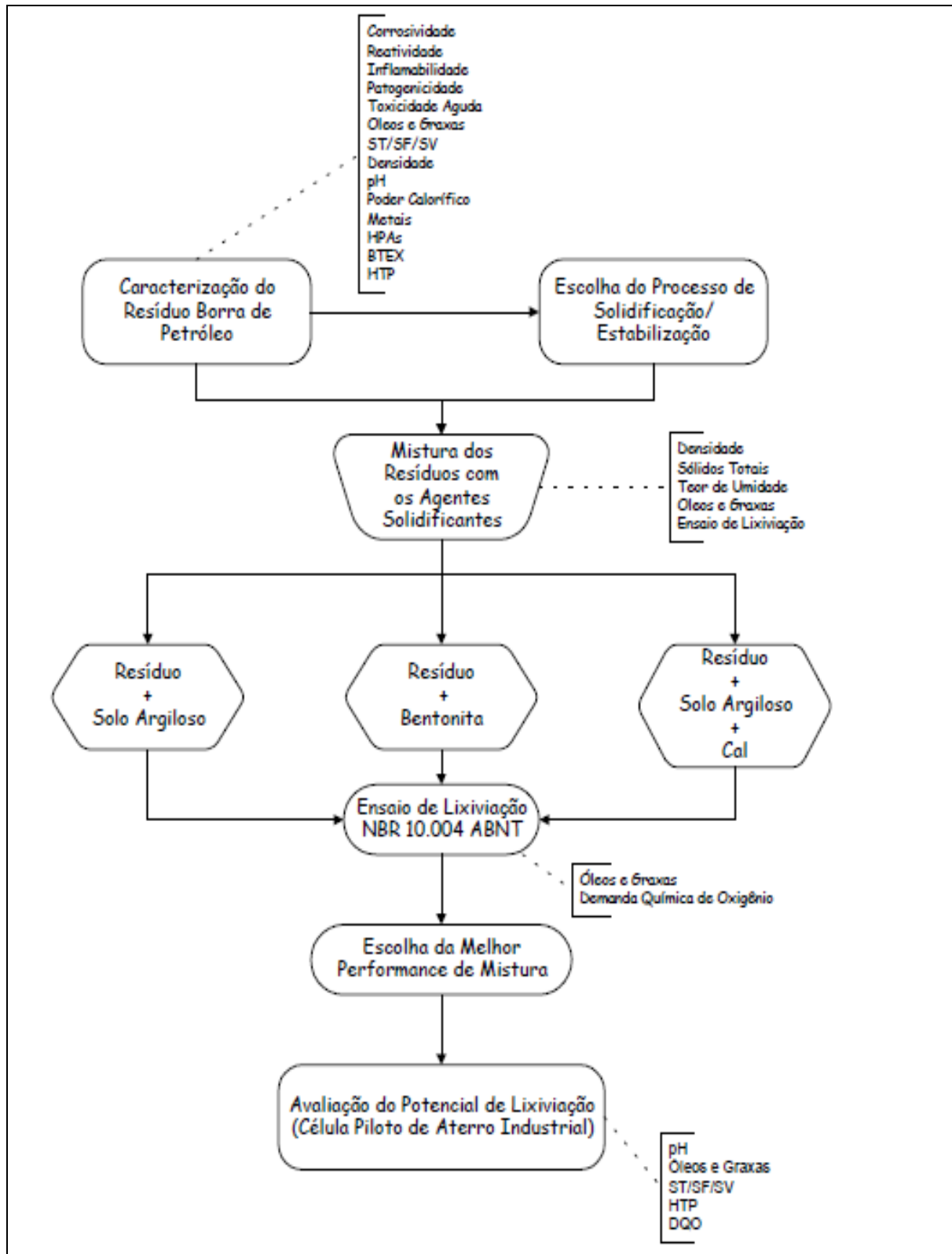


Exemplo de aplicação: Promove a elevação da temperatura do solo ou da água subterrânea para prover a separação do contaminante determinado, geralmente de fácil separação, tais como substâncias voláteis.

**2.4.2 Solidificação/Estabilização-** A solidificação é uma forma de pré-tratamento que gera uma massa sólida monolítica de resíduo tratado, melhorando tanto a sua integridade estrutural, quanto a sua característica física, tornando assim mais fácil o seu manuseio e transporte. A estabilização, por sua vez, consiste em um estágio de pré-tratamento por meio do qual os constituintes perigosos de um resíduo são transformados e mantidos nas suas formas menos solúveis ou menos tóxicas. Tais transformações se dão por meio de reações químicas que fixam elementos ou compostos tóxicos, em polímeros impermeáveis ou em cristais estáveis. Quanto às características físicas do resíduo, estas podem ou não ser alteradas e melhoradas (CETESB, 1993).

A figura 11 apresenta o fluxograma da metodologia para avaliação da técnica de solidificação/estabilização de resíduos, tendo como exemplo o resíduo de borra de óleo.

Figura 11- Fluxograma da metodologia para avaliação da técnica de Solidificação / estabilização.



Fonte: (Oliveira, 2003).

Segundo Oliveira (2003), a tabela 5 descreve as seguintes vantagens e desvantagens do processo de solidificação/estabilização:

Tabela 5- Vantagens e desvantagens do processo de solidificação/estabilização.

Processo	Vantagens	Desvantagens
Base Cimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aditivos estão disponíveis por um preço razoável;</li> <li>-As técnicas de mistura de cimento são bem desenvolvidas;</li> <li>-Equipamentos são facilmente disponíveis;</li> <li>- O processo é razoavelmente tolerante a variações químicas nos lodos;</li> <li>-A resistência e a permeabilidade do produto final podem ser variadas pelo controle da quantidade de cimento adicionado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- As baixas resistências da mistura cimento-resíduo são freqüentemente vulneráveis a soluções de lixiviações ácidas.</li> <li>- Condições extremas podem resultar na decomposição de materiais fixos e acelerar a lixiviação de contaminantes;</li> <li>- Pré-tratamento, tipos de cimento mais caro, ou aditivos caros podem ser necessários para estabilização de resíduos contendo impurezas que afetem o endurecimento e a cura do cimento;</li> <li>- Cimento e outros aditivos aumentam consideravelmente o peso e o volume dos resíduos.</li> </ul>
Base Cal	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Os aditivos são geralmente muito baratos e amplamente disponíveis;</li> <li>-Os equipamentos requeridos para o processo são simples para operar e amplamente disponíveis;</li> <li>- A química das reações pozolânicas são bem conhecidas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-A cal e outros aditivos aumentam o peso e o volume dos resíduos;</li> <li>-Soluções ácidas provocam perda de estabilização do lodo;</li> <li>-Problemas associados com contaminantes orgânicos podem afetar a cura e o endurecimento da matriz.</li> </ul>
Termoplástico	<ul style="list-style-type: none"> <li>-As taxas de migração de contaminantes são geralmente mais baixas que muitas outras técnicas;</li> <li>- O produto final é bastante resistente a maioria das soluções aquosas;</li> <li>- Materiais termoplásticos aderem bem à incorporação de materiais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Os equipamentos são caros e a habilidade no laboratório é geralmente requerida;</li> <li>-Lodos contendo contaminantes que volatilizam em baixas temperaturas devem ser processados cuidadosamente;</li> <li>-Materiais termoplásticos são inflamáveis;</li> <li>-Lodos úmidos devem ser secos antes, só então podem ser misturados com o material termoplástico</li> </ul>
Polímeros Orgânicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Somente pequenas quantidades de aditivos são usualmente requeridas, para fazer a mistura proposta;</li> <li>-A técnica pode ser aplicada para qualquer um dos dois: lodo seco ou úmido;</li> <li>-O produto final tem uma densidade baixa comparada com outras técnicas de fixação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Os contaminantes são fixados em uma matriz-resina solta como produto final;</li> <li>-Os catalisadores usados no processo uréia-formaldeído são ácidos fortes. Muitos metais são extremamente solúveis em baixo pH e podem escapar na água não sendo presos na massa durante o processo de polimerização.</li> <li>-Alguns polímeros orgânicos são biodegradáveis.</li> </ul>
Encapsulamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Muitos contaminantes solúveis são totalmente isolados do ambiente;</li> <li>-Usualmente um segundo recipiente não é requerido, devido aos materiais de cobertura serem resistentes e quimicamente inertes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Os materiais usados são freqüentemente caros;</li> <li>-Geralmente requerem equipamentos especializados e tratamento térmico para formar a sobrecapa;</li> <li>-O lodo tem de ser seco antes do processo ser aplicado.</li> </ul>

Fonte: (Adaptado Oliveira, 2003).

Exemplo aplicação: Resíduos contaminados, que possibilitem a modificação de suas características.

**2.4.3 Autoclavagem-** É o processo que promove completa eliminação ou destruição de todas as formas de microrganismos presentes: vírus, bactérias, fungos, protozoários, esporos, para um aceitável nível de segurança. O processo de esterilização é um processo físico (RUTALA, 1997).

As formas microbianas consideradas mais resistentes aos processos físicos e químicos, que podem ser manuseadas laboratorialmente, são os esporos (NIEHEUS, 2004). A figura 12 apresenta uma autoclave.

Figura 12- Autoclave.



Fonte: (Funasa, 2006).

A tabela 6 descreve as seguintes vantagens e desvantagens do processo de autoclavagem, segundo Mattioli (2002):



Tabela 6- Vantagens e desvantagens do processo de autoclavagem.

Vantagens	Desvantagens
-Proporciona boa eficiência para esterilização de Resíduo de Serviço de Saúde em pequenas quantidades, desde que acondicionados em embalagens especiais que permitam a passagem do vapor; -Este método tem provado eficácia para esterilização de instrumentais cirúrgicos; -Facilidade na instalação e operação do sistema; -Opera em condição higiênica e segura.	-Não reduz peso, volume e nem altera a aparência dos resíduos; -Não há garantia de que todas as bactérias sejam totalmente destruídas na faixa da temperatura de trabalho; -Baixa eficácia para resíduos de maior densidade como os anátomo-patológicos, animais contaminados e resíduos líquidos.

Fonte: (Mattioli, 2002).

Exemplo de aplicação: Utilizado para eliminar bactérias (seus esporos), vírus e fungos.

**2.4.4 Microondas-** Processo de esterilização em forno com aquecimento por microondas. Este processo combina trituração, injeção de vapor e microondas, atingindo altos níveis de desinfecção. Não há formação de poluentes e há ausência de odores e ruídos. Requer operação especializada (RIBEIRO FILHO, 2000; MERCEDES BENZ, 1997).

No processamento de microondas, a energia é fornecida por um campo eletromagnético diretamente para o material. Isso resulta em aquecimento rápido em toda a espessura do material com reduzido gradiente térmico. Aquecimento volumétrico também pode reduzir os tempos de processamento e economizar energia (THOSTENSON E CHOU, 1999).

A figura 13 apresenta um forno de microondas instalado no aterro sanitário de Ribeirão Preto-SP.

Figura13- Forno de microondas instalado no aterro sanitário de Ribeirão Preto.



Fonte: (Santos, 2004).

A tabela 7 descreve as seguintes vantagens e desvantagens do processo de microondas, segundo Mattioli (2002):

Tabela 7- Vantagens e desvantagens do processo de microondas.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Investimento inicial relativamente baixo quando comparado ao processo de incineração;</li> <li>-Reduz o volume do resíduo em torno de 80% devido à prévia moagem, trituração e compactação deixando-o irreconhecível;</li> <li>-As microondas trabalham muito rápidas e os resíduos são aquecidos por dentro, já que as microondas podem penetrar no material diretamente;</li> <li>-Em geral, a alimentação do processo é realizada automaticamente sem a intervenção do operador</li> <li>-Pode ser combinado com o processo de esterilização a vapor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Requer alto consumo de energia elétrica, podendo ter custo significativamente alto para a manutenção do sistema;</li> <li>-As microondas não podem aquecer o material que está seco e é poroso, sem a necessidade de certa quantidade de umidade (esporos secos e bactérias sobreviverão);</li> <li>-Não pode ser uniformemente umedecido sem ter sido previamente triturado - triturar o resíduo antes de ser esterilizado, entretanto, não é recomendável porque este processo pode ser perigoso, pois o triturador se infectaria com o resíduo.</li> </ul>

Fonte: (Mattioli, 2002).

Exemplo de aplicação: Utilizado para eliminar microorganismos presentes em resíduos de serviço de saúde.

**2.4.5 Co-Processamento-** Destruição térmica através de fornos de cimento. Diferente das outras técnicas usa-se o resíduo como potencial energético e/ou substituição de matéria-prima na indústria cimenteira. Devido às altas temperaturas a destruição do resíduo é total e não gera cinzas, uma vez que esta é incorporada à matriz do *clínquer*, eliminando a disposição em aterros. O Co-processamento é regido pela Resolução CONAMA 264/1999.

O cimento sempre esteve ligado ao desenvolvimento da sociedade, com ele se constroem desde simples casas até grandes indústrias. Por outro lado, o crescimento populacional, a urbanização das cidades e a constante industrialização geram impactos, um destes impactos é a geração de resíduos sólidos.

Como mais uma contribuição da indústria de cimento para um futuro equilibrado, os fornos de cimento são utilizados para destruir definitivamente e de maneira ambientalmente adequada, os resíduos de outros setores, como o de petróleo, química, automóveis, alumínio, pneus, papel, entre outros. Os resíduos se integram ao processo de fabricação do cimento, seja como combustível ou em substituição às matérias-primas. Essa técnica, denominada co-processamento, totalmente regulamentada, já é utilizada no Brasil desde o início da década de 90 e na Europa e Estados Unidos, desde 1970 (CARPIO E COSTA, 2007).

#### Co-processamento no Brasil para alimentação em fornos de cimenteira

Co-processamento é a queima de resíduos industriais e de passivos ambientais em fornos usados para fazer Cimento. Das 47 fábricas integradas (com fornos) instaladas no Brasil, 36 estão licenciadas para co-processar resíduos. Essas 36 fábricas representam mais de 80% da produção nacional de clínquer. O Brasil gera cerca de 2,7 milhões de toneladas de resíduos perigosos de diversos segmentos da indústria (siderúrgica, petroquímica, automobilística, de alumínio, tintas, embalagens, papel e pneumáticos) por ano, das quais co-processa, anualmente, cerca de 800 mil toneladas. Somente em 2006, foram eliminadas em fornos de cimento aproximadamente 100 mil toneladas de pneus velhos, correspondentes a cerca de 20 milhões de unidades de pneus (ORGANIZAÇÃO CIMENTO.ORG, 2005).

### O Co-processamento no mundo em cimenteiras

As primeiras experiências com queima de resíduos em fornos de produção de clínquer foram realizadas em finais da década de 60, no Canadá, Estados Unidos e países da Europa. Desde então essa tecnologia tem se desenvolvido e vem sendo incorporada crescentemente ao processo de produção (MARINGOLO, 2001).

Em 1995 aproximadamente 10% da energia térmica consumida na Europa originaram dos combustíveis alternativos. Isso equivale a 2,5 milhões de toneladas de carvão (CEMBUREAU, 2006).

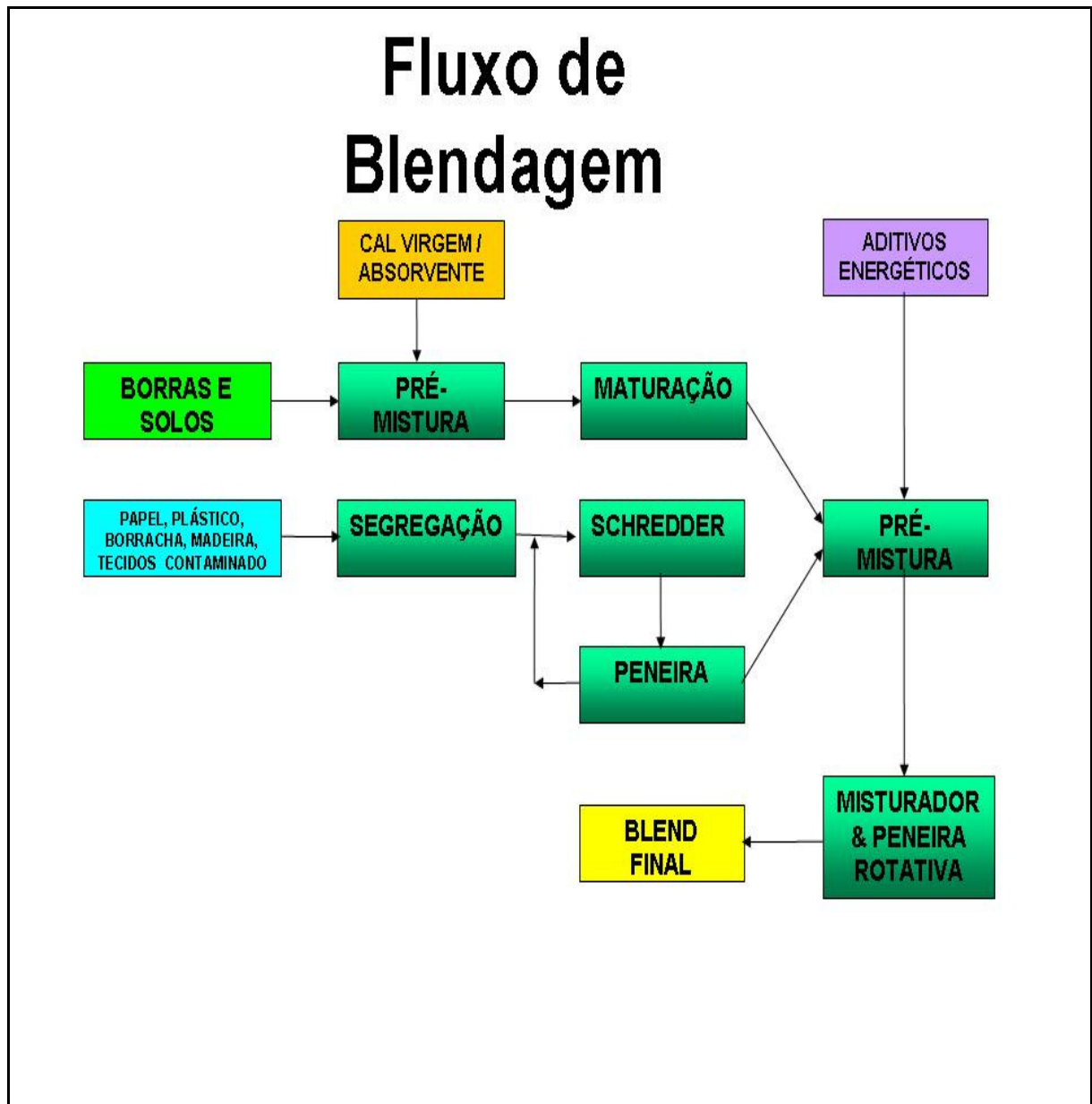
Em 1995, registram-se nos Estados Unidos 45 fornos de cimento em 24 fábricas, co-processando cerca de 1.000.000 toneladas (T) / ano de resíduos. No Japão, onde datam dos anos de 1980, apenas em 1990 foram queimados 20 tipos de resíduos industriais de 26 empresas, 113.000 T como substitutos de combustível e 424.000 T como substituto de matéria-prima, gerando uma economia de 110.000 T de carvão e 382.000 T de matérias-primas, reduzindo 6,9% e 7%, respectivamente os custos com o uso de resíduos em substituição a outra fonte de combustível (MARINGOLO, 2001).

Para que os resíduos possam ser co-processados, os mesmos são submetidos a um processo de blendagem<sup>2</sup>, que envolve a mistura e homogeneização, assegurando a boa performance operacional e as características adequadas do produto final. A figura 14 apresenta o fluxo de blendagem, e na figura 15 é visto o produto final, denominado Blend.

---

<sup>2</sup> Blendagem- é a mistura de resíduos com o objetivo de homogenizar os diversos resíduos que serão utilizados de uma mesma forma na unidade de destinação final, garantindo melhor performance operacional e qualidade do produto fabricado.

Figura 14- Fluxo de blendagem.



Fonte: (Autor, 2011).

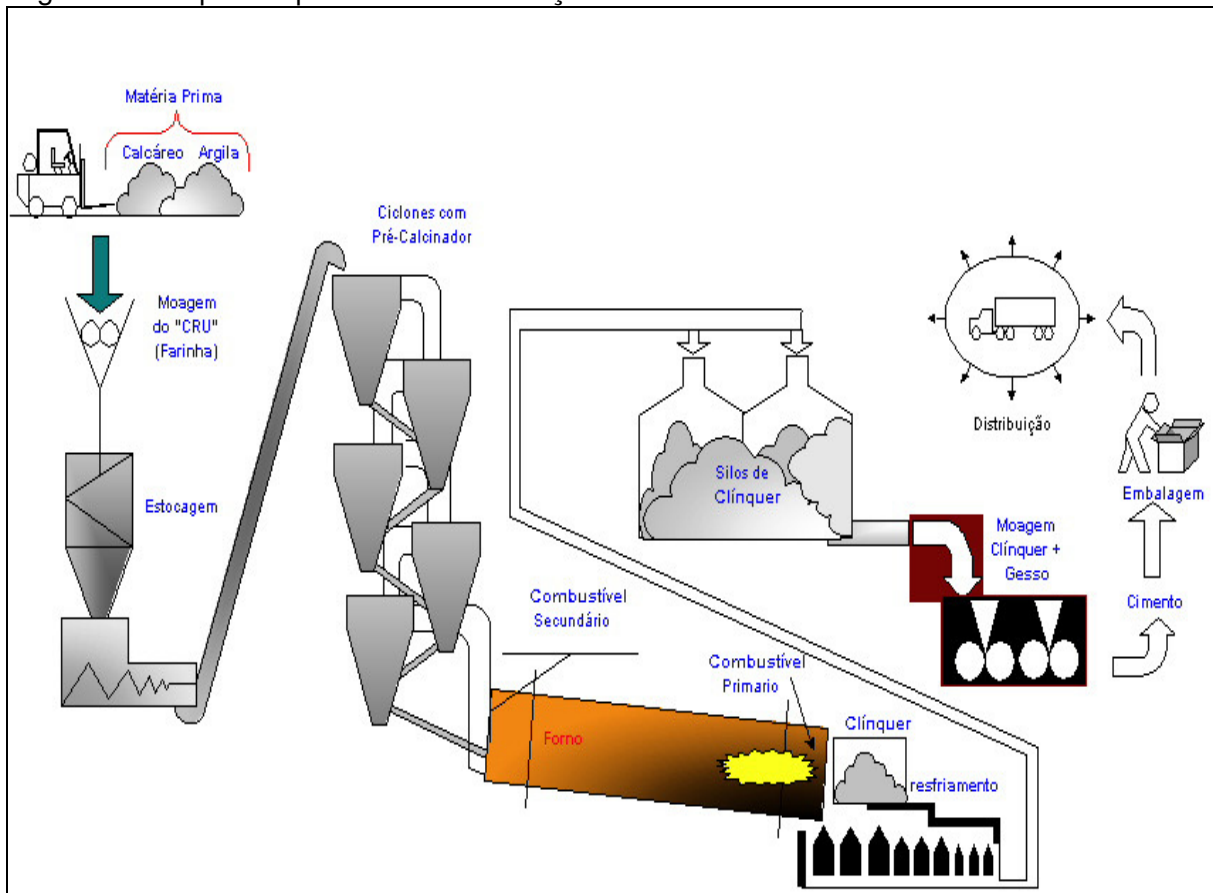
Figura 15- Blend de resíduo formado para ser co-processado em cimenteira.



Fonte: (Autor, 2007).

As etapas do processo de fabricação do cimento são apresentadas na figura 16. O forno de clínquer é uma técnica de incorporação de resíduos ao processo de fabricação de clínquer (cimento), a partir do aproveitamento de resíduos sólidos, resultando na destruição térmica eficiente e segura sob o ponto de vista operacional e ambiental (CARPIO E COSTA, 2007).

Figura 16- Etapas do processo de fabricação do cimento.



Fonte: (Carpio e Costa, 2007).

Para garantir que a mistura de calcário e a argila utilizada como matéria-prima se transforme em clínquer, grandes quantidades de combustíveis são necessárias para fornecer calor suficiente para que a temperatura dentro do forno atinja  $1450^{\circ}\text{C}$  (CARPIO, 2007).

Como alternativa para diminuir seus custos de produção e manter a eficiência do sistema, as técnicas de co-processamento vêm se tornando uma realidade nas indústrias cimenteiras, pois permitem que determinados resíduos possam ser empregados como combustível secundário em fornos de cimento. Além de combustíveis secundários, dependendo das características do resíduo, o mesmo pode ser empregado como matéria-prima secundária (MARINGOLO, 2001; CEMBUREAU, 1999).

O co-processamento não altera a qualidade do cimento e é praticado de forma segura tanto para os trabalhadores quanto para a comunidade que reside em torno da fábrica. Através do co-processamento, resíduos industriais são destruídos

ao mesmo tempo em que são reaproveitados. Economizam-se assim recursos naturais, contribuindo para a preservação do meio ambiente.

Segundo (LIEBL E GERBER, 1993) o Co-Processamento apresenta as seguintes aplicabilidades:

Resíduos substitutos de matérias-primas;

Resíduos substitutos de combustível;

Resíduos inorgânicos para inertização;

Resíduos orgânicos para destruição térmica.

Co-processamento de resíduo como substituto de matéria-prima em cimenteiras (ORGANIZAÇÃO CIMENTO.ORG, 2005):

Apresentar características similares as matérias primas empregadas na produção de clínquer, incluindo neste caso os materiais mineralizadores ou fundentes;

Presença de óxidos de cálcio, silício, alumínio e ferro;

Presença de mineralizadores (Zinco, Flúor, Bário e Fosfatos), facilita as reações de clinquerização.

Co-processamento de resíduo como substituto de combustível em cimenteiras (ORGANIZAÇÃO CIMENTO.ORG, 2005):

Poder calorífico inferior deve ser maior que 2700 kcal/kg;

O resíduo deverá comprovar ganho energético para o processo;

“Blending” poder calorífico inferior superior a 1700 kcal/kg para cada componente da mistura;

Alimentação do resíduo, preferencialmente, na extremidade quente do forno rotativo (zona de combustão primária) - temperatura dos gases 2000°C;

Possibilidade de alimentação em outro ponto do sistema forno, em função da composição físico-química do resíduo (zona de combustão secundária de 850°C a 1200°C).

Os resíduos possíveis de utilização no co-processamento são: borras oleosas, borras ácidas, pneus, borrachas não cloradas, borra de tintas, solventes, ceras, resinas fenólicas e acrílicas, carvão ativado usado como filtro, elementos filtrantes de filtros de óleo. Os resíduos proibidos de serem utilizados no co-processamento são: resíduos domésticos, de serviço de saúde, radioativos, substâncias organo cloradas, agrotóxicos e explosivos (ORGANIZAÇÃO CIMENTO.ORG, 2005).



A tabela 8 descreve as seguintes vantagens e desvantagens do co-processamento, segundo Maroun (2002):

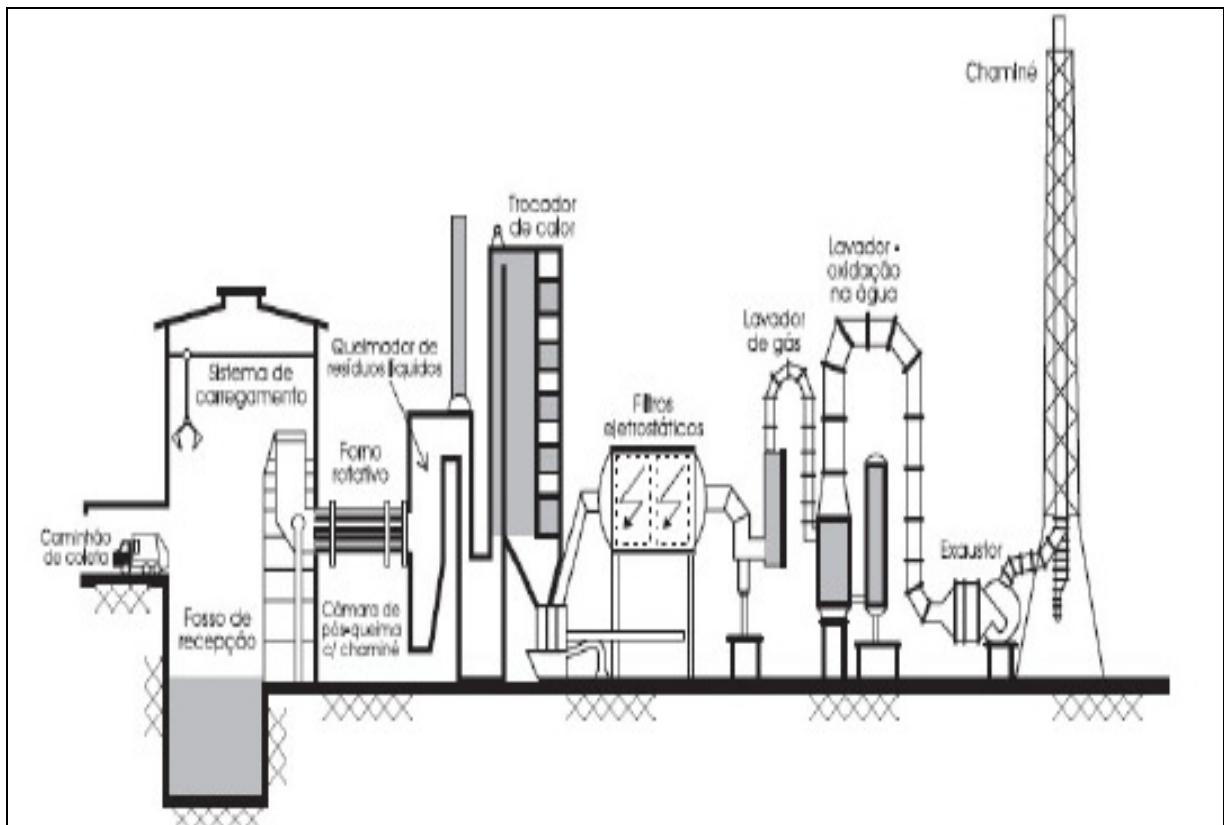
Tabela 8- Vantagens e desvantagens do co-processamento.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resíduos podem ser reaproveitados energeticamente;</li> <li>-Baixo custo de implantação;</li> <li>-Não gera cinzas, pois toda a matéria queimada é incorporada ao produto final.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Necessita controle de emissões atmosféricas;</li> <li>-Alguns resíduos perigosos não podem ser co-processados devido à sua composição;</li> <li>-De acordo com a Resolução CONAMA 264 de 1999, é proibida a destinação via co-processamento dos resíduos: "domiciliares brutos, os resíduos de serviços de saúde, os radioativos, explosivos, organo clorados, agrotóxicos e afins".</li> </ul>

Fonte: (Maroun, 2002).

**2.4.6 Incineração-** Segundo Menezes e Gerlach (2000) a "Incineração é um processo de redução do peso, volume e das características de periculosidade dos resíduos, com a consequente eliminação da matéria orgânica e características de patogenicidade, através da combustão controlada". A redução de volume do material incinerado é geralmente superior a 90% e em peso superior a 75%. Para a garantia do meio ambiente a combustão tem que ser continuamente controlada, levando-se em conta que o combustível (lixo urbano) é desconhecido, porque varia ao longo do tempo em composição, umidade, peso específico e poder calorífico. Por isso, os sistemas modernos de incineração de lixo são dotados de sistemas computadorizados de controle contínuo das variáveis de combustão, tanto na câmara primária quanto na de pós-combustão, bem como, nas demais etapas de depuração de gases e geração de energia. A figura 17 apresenta o esquema de um incinerador industrial.

Figura 17: Incinerador industrial.



Fonte: (Zveibil, 2001).

A incineração de resíduos sólidos industriais é uma alternativa para redução do seu volume, sendo bastante discutida. Os que a defendem consideram que é uma forma de eliminar possíveis riscos para a saúde pública, enquanto os que a combatem argumentam que a má operação dos incineradores pode ser uma nova fonte de poluição / contaminação atmosférica (gases e material particulado) (PEREIRA, 2002).

Dentre os tipos de resíduos que apresentam maior potencial de periculosidade, no que diz respeito à adequabilidade ao processo de incineração, incluem-se: resíduos orgânicos constituídos basicamente de carbono, hidrogênio e/ou oxigênio; resíduos que contêm carbono, hidrogênio e cloro com teor inferior a 30% em peso e/ou oxigênio, solventes e óleos não passíveis de recuperação, defensivos agrícolas halogenados, vários produtos farmacêuticos, e resíduos sólidos perigosos.

As características dos resíduos e seu comportamento durante a combustão determinam como devem ser misturados, estocados e introduzidos na zona de

queima. Alguns líquidos, com baixo ponto de fulgor, são facilmente destruídos enquanto outros, incapazes de manter a combustão, devem ser introduzidos através de uma corrente de gás quente ou aspergidos diretamente sobre a chama, neste caso, pode ocorrer um fenômeno químico chamado craqueamento, onde novas e indesejáveis substâncias podem ser formadas.

A incineração de resíduos contendo enxofre, flúor, cloro, bromo, e iodo resultam num efluente gasoso cuja composição são encontrados estes poluentes. A forma mais comum de eliminá-los é fazer com que os gases da combustão passem através de uma torre onde são lavados em contracorrente (ROCCA, 2002).

A verificação da possibilidade de se incinerar um resíduo, bem como das condições operacionais para sua destruição, é feita com base em uma caracterização efetiva desse resíduo. Desta caracterização resulta o tipo de incinerador, a forma a incinerar e o sistema de controle de poluição do ar a serem utilizados.

As informações necessárias para a caracterização dos resíduos são:

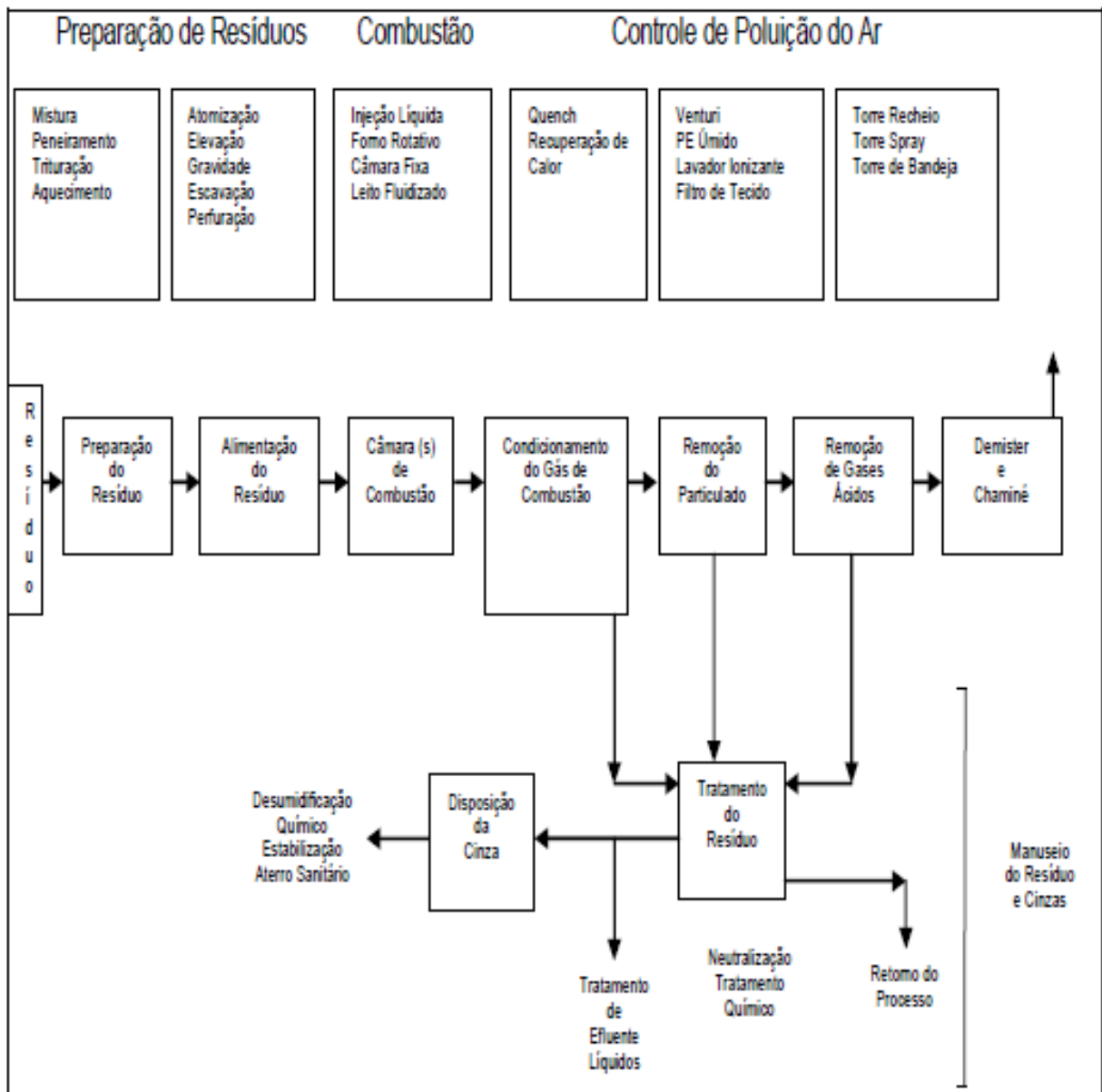
- a) Características do processo industrial: matérias-primas empregadas e produtos fabricados, fluxograma do processamento industrial indicando os pontos de geração de resíduos.
- b) Sobre o resíduo: quantidade, estado físico, poder calorífico, viscosidade (para os líquidos), densidade, viscosidade e porcentagem de sólidos (para as lamas); densidade (para gases), corrosividade; composição química - particularmente os teores de constituintes orgânicos tóxicos constantes da listagem nº 4 da NBR - 10004, Classificação de Resíduos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Dempsey e Oppelt (1999) descrevem os quatro maiores subsistemas que podem estar incorporados em um sistema de incineração de resíduos perigosos:

- preparação e alimentação do resíduo;
- câmara(s) de combustão;
- controle dos poluentes atmosféricos;
- manuseio da cinza/resíduo.

A ordem usual destes subsistemas é mostrada na figura 18 junto com as opções típicas de componentes do processo. A seleção da combinação apropriada destes componentes é, em princípio, uma função das propriedades físicas e químicas do(s) resíduo(s) a ser (em) incinerado (s).

Figura 18- Fluxograma de um processo de incineração de resíduos sólidos.



Fonte: (Dempsey e Oppelt, 1999).

A incineração é um processo de decomposição térmica à alta temperatura, acima de 950° C, para destruir a fração orgânica do resíduo e reduzir o seu volume. Assim, o desafio do projeto de um sistema de incineração está na produção da combustão completa como prática, usando o gerenciamento de três parâmetros (tempo de residência do resíduo a ser decomposto termicamente, temperatura e turbulência) e providenciando controles adequados dos poluentes lançados no ar. A incineração é um dos mais importantes métodos de eliminação de resíduos sólidos. Durante a incineração, várias reações de composição e decomposição podem

ocorrer, as propriedades físicas e químicas dos resíduos municipais podem mudar (ZHANG, YAMASAKI E NANZYU, 2001).

A conveniência de usar a incineração, entre outras tecnologias em gestão de resíduos sólidos, ainda é uma questão debatida. No entanto, a evolução tecnológica no domínio das instalações de incineração de resíduos tem diminuído fortemente os seus impactos ambientais nos últimos anos. Uma comparação preliminar com o impacto ambiental dos aterros, para a mesma quantidade de resíduos, destacou que o processo de incineração deve ser considerado ambientalmente preferível (MORSELLI et al., 2008).

Segundo Mattioli (2002), a tabela 9 descreve as seguintes vantagens e desvantagens do processo de incineração:

Tabela 9- Vantagens e desvantagens do processo de incineração.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pode ser utilizado para qualquer tipo de resíduo infectante ;</li> <li>- Reduz em 15% o peso e o volume do resíduo;</li> <li>- Destrói os organismos patogênicos e substâncias orgânicas;</li> <li>- A geração de vapor pode ser reaproveitada no próprio sistema ou convertida para a produção de energia elétrica;</li> <li>- Em sistemas modernos os gases são exaustivamente filtrados e lavados retirando-se as partes nocivas e as partículas finas;</li> <li>- Adequação para um sistema supervisorio, inteligente, inteiramente computadorizado, que monitora, em sistema digital, todos os pontos principais e controla todo o processo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emissão de efluentes gasosos (dioxinas, furanos e partículas metálicas) expelidos pelas chaminés em incineradores imprópriamente projetados, operados por pessoal não qualificado ou quanto à composição do resíduo (materiais tipo PVC);</li> <li>- Deve ser incorporado sistema de tratamento dos gases expelidos no processo;</li> <li>- Requer alto investimento inicial e para tratamento dos gases;</li> <li>- A variabilidade da composição dos resíduos pode resultar em problemas no manuseio e operação do incinerador;</li> <li>- Exige manutenção intensa;</li> <li>- A umidade acentuada do resíduo dificulta a queima no processo de combustão requerendo pré-aquecimento através de combustíveis auxiliares.</li> </ul>

Fonte: (Mattioli, 2002).

**2.4.7 Landfarming-** São sistemas de tratamento através das propriedades físicas e químicas do solo, e de intensa atividade microbiana existente neste meio, para promover a biodegradação, desintoxicação, a transformação e a imobilização dos constituintes dos resíduos tratados, minimizando os riscos de contaminação. Os resíduos são tratados com aplicação controlada incorporados na superfície ou no

interior do horizonte superficial do solo, acompanhadas de práticas de manejo e monitoramento constantes; aplicável a borras de petróleo (BRASIL E SANTOS, 2004), conforme a figura 19.

Figura 19- Processo de landfarming.



Fonte: (Autor, 2004).

O landfarming termo geralmente se refere ao processo pelo qual os solos contaminados com hidrocarbonetos estão espalhados em uma camada de cerca de meio metro de espessura, os nutrientes são adicionados, e, periodicamente, os solos podem ser misturados. Durante o processo de landfarming, os hidrocarbonetos podem ser perdidos por volatilização ou biorremediação e, assim, landfarming refere-se à combinação dos dois processos (PAUDYN et al., 2008)

Segundo a tabela 10, adaptada da EPA (1998b), descreve as seguintes vantagens e desvantagens do processo de landfarming:

Tabela 10- Vantagens e desvantagens do processo de landfarming.

Vantagens	Desvantagens
-Relativamente simples de projetar e executar; -Pequeno tempo de tratamento (normalmente 6 meses a 2 anos sob condições ótimas); -Efetivo em componentes orgânicos com taxas de biodegradação lentas.	-Redução de concentração maior que 95% e concentrações constituintes menos que 0,1 ppm são muito difíceis de alcançar; -Pode não ter efetivo para concentrações constituintes altas (maior que 50.000 ppm de hidrocarboneto de petróleo totais); -Presença de concentrações de metais pesados significantes (maior que 2,500 ppm) pode inibir crescimento microbiano; -Constituintes voláteis tendem evaporar; -Constituintes voláteis tendem a evaporar em lugar de biodegradar durante o tratamento; -Requer uma área de terra maior para tratamento; -Geração de poeira e vapor durante aeração do landfarming podem apresentar preocupações com a qualidade do ar.

Fonte: (Adaptado de EPA,1998b).

Exemplo de aplicação: Utilizado para tratamento de borras de óleo, tratamento de lodos de esgotos domésticos, e alguns resíduos perigosos de indústrias químicas.

**2.4.8 Aterro Industrial-** Técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública, minimizando os impactos ambientais e utilizando procedimentos específicos de engenharia para o confinamento destes.

Um aspecto fundamental para a implantação de um aterro é o cuidado em relação ao uso e ocupação do solo e seus arredores, uma vez que os poluentes ou contaminantes podem ser transportados, propagando-se por diferentes vias, como, por exemplo, através de águas superficiais e subterrâneas. Esses poluentes são de naturezas diversas podendo-se destacar os metais pesados (NASCIMENTO, HYPOLITO E RIBEIRO, 2006).

A tabela 11 descreve as seguintes vantagens e desvantagens da disposição em aterro industrial, segundo Maroun (2006):

Tabela 11- Vantagens e desvantagens do aterro industrial.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixo custo em relação a outras opções de tratamento e disposição final, como incineração;</li> <li>- Pode ser utilizado para grande variedade de resíduos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necessita de uma grande área física para construção e operação;</li> <li>- Gera um passivo que precisa ser continuamente monitorado.</li> </ul>

Fonte: (Maroun, 2006).

Os aterros industriais podem ser classificados em:

**2.4.8.1 Aterro Classe I-** Destinam-se a acolher os resíduos considerados perigosos, como por exemplo: cinzas de incineradores, tóxicos, etc. O aterro é dotado de uma estrutura capaz de minimizar os riscos de contaminação do lençol freático, pode possuir um sistema de impermeabilização com uma única manta de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) ou dupla manta plástica de PEAD, protegendo o solo e lençóis de águas subterrâneas. Possui drenagem de chorume e de águas pluviais, que precipitam na superfície do valo. Deve-se estar em conformidade com a NBR-8418 e NBR-10157, que definem as exigências quanto aos critérios de projeto, construção e operação de aterros industriais classe I; conforme figura 20.



Figura 20- Vala de aterro classe I.



Fonte: (Essencis, 2004).

**2.4.8.2 Aterro Classe II A-** abrange o destino de resíduos não perigosos e não inertes e também resíduos domiciliares. Os Aterros Classe II-A possuem as seguintes características: impermeabilização com argila e/ou geomembrana de PEAD, sistema de drenagem e tratamento de efluentes líquidos (chorume), conforme apresentado na figura 21.

Figura 21- Vala de aterro classe II A.



Fonte: (Autor, 2008).

**2.4.8.3 Aterro Classe II B-** destinam-se aos resíduos inertes. Este tipo de aterro poderá ter uma impermeabilização de base com argila, sistema de coleta de chorume e sistema de coleta dos gases gerados. Por essas razões selecionam-se cuidadosamente os resíduos a serem dispostos neste tipo de aterro, conforme apresentado na figura 22.

Figura 22- Vala aterro classe II B.



Fonte: (Autor, 1997).

## 2.5 Inventário de Resíduos Sólidos

O inventário de resíduos sólidos industriais se caracteriza por identificar os pontos de geração e os aspectos quantitativos e qualitativos dos resíduos produzidos, fornecendo assim subsídios para delinear uma política de gestão voltada para a minimização da geração, reutilização, reciclagem, tratamento e destinação final adequada deste, de forma que o mesmo possa atender o que preconiza a Resolução do CONAMA nº 313 de 29 de outubro de 2002.

O inventário prevê diagnosticar a situação atual da geração de resíduos sólidos industriais e a sua destinação final, levantando a sua tipologia, classificação, formas de armazenamento, tratamento e disposição final adotadas pelas indústrias, bem como os estoques existentes em suas instalações (MOROSINE, 2006).

O inventário apresenta os caminhos do resíduo desde sua geração, caracterização, classificação, acondicionamento, transporte interno e externo, até

sua destinação, considerando os critérios de segregação e as orientações de saúde e segurança, visando minimizar riscos e impactos.

Esta atividade compreende a seleção da amostra de resíduos a serem inventariadas e a pesquisa quanto ao gerenciamento dos resíduos sólidos, desde a produção até a destinação final. Pode ser pesquisado um grupo representativo de resíduos ou o total de resíduos existentes na área de estudo (BATISTA, 2005).

Nesta atividade, devem-se buscar informações relativas ao processo industrial, identificando matérias-primas, insumos, os pontos de geração de resíduo, a quantidade e do resíduo gerado e as estratégias de gestão, podem incluir as técnicas de armazenamento, tratamento e destinação final utilizadas pela empresa. No caso do presente estudo, conhecer o resíduo que deixa de ser gerado, através de alguma estratégia de gestão, é interessante para avaliar o benefício energético deste tipo de redução na fonte. As informações do inventário podem ser obtidas através de pesquisa de campo, sempre que possível. Pode-se utilizar a aplicação de questionários junto às empresas ou, ainda, utilizar inventários já existentes ou, em último caso, recorrer a levantamento bibliográfico para estimar quantidade e qualidade do resíduo gerado em função do tipo de processo e porte do estabelecimento industrial (BATISTA, 2005).

## **2.6 Avaliação Econômica**

O principal objetivo da avaliação econômica é identificar, quantificar e comparar os custos e as alternativas consideradas (DRUMMOND E MACGUIRE, 2001).

As avaliações econômicas podem ser parciais, quando examinam apenas custos ou apenas resultados, e totais ou completas, se têm por objeto custos e resultados. Utilizam-se modalidades de enfoque como custo-efetividade, custo-utilidade, custo-benefício e custo-minimização. Na análise de custo-efetividade, os benefícios são expressos em termos não monetários relacionados com os efeitos da saúde, tais como anos de vida ganhos, dias livres de sintomas ou dentes livres de cárie, e comparam-se os efeitos positivos e negativos de duas ou mais opções de um mesmo programa (FERREIRA E LOUREIRO, 2006).

Na análise de custo-utilidade, os efeitos são usualmente expressos em qualidade de vida ajustada por ano e permitem comparação de diferentes

intervenções. Na análise de custo-benefício, os efeitos são expressos em termos monetários. A análise de custo-minimização compara os custos de procedimentos ou programas para alcançar um objetivo determinado, cujas consequências supõem-se equivalentes (FERREIRA E LOUREIRO, 2006).

A palavra custeio pode ser definida como “metodologia de apuração de custos”. Os métodos para apuração de custos são: a) custeio por absorção, b) custeio direto ou variável e c) custeio por atividades. A análise custo-efetividade é uma técnica que compara os custos de determinado projeto aos benefícios resultantes, expressos em diferentes unidades de medida, sendo os custos expressos em unidades monetárias e os benefícios em objetivos. As etapas fundamentais desta análise são: identificar os objetivos do projeto; traduzir os objetivos em dimensões operacionais ou metas; especificar as alternativas que serão avaliadas; determinar a estrutura de custos correspondente a cada alternativa, expressa em custo por beneficiário em determinado período de tempo; medir o grau de concretização dos objetivos propostos; comparar as alternativas entre si, utilizando as razões custo-efetividade, calculadas pela divisão dos custos monetários pelos efeitos expressos em unidades de produto (COHEN e FRANCO, 1988).

A análise econômica, em sua essência, verifica se os bens e serviços resultantes do projeto em análise justificam os investimentos realizados. Como deve ter ficado claro previamente, quando essa análise é realizada sob um ponto de vista social amplo se lida com princípios e valores que podem ser distintos daqueles que são considerados na análise sob um ponto de vista financeiro ou sob um ponto de vista econômico privado (LANNA, 2001)

Do ponto de vista da avaliação econômica, poderão ser estabelecidas ordens distintas de prioridades, a adoção do ponto de vista adequado depende tanto das metas de planejamento quanto do propósito da análise a ser realizada. Se a meta de planejamento é o Desenvolvimento Econômico Nacional o ponto de vista será o da sociedade daquele país. Se a meta é o Desenvolvimento Regional, o ponto de vista se limita à sociedade da região em pauta. Se o objetivo do projeto é privilegiar determinado grupo social a avaliação deverá ser realizada sob o ponto de vista desse grupo. Isso demonstra que poderá haver diversos tipos de avaliação de projetos dentro do escopo da Análise Econômica.

Segundo Lanna (2001) segue os conceitos apresentados para uma aplicação correta da Análise Econômica:

- ⇒ Análise com e sem projeto: Existe um erro analítico comum em se avaliar as vantagens de um projeto pela situação antes e após sua implantação. Trata-se de um erro porque a situação evoluirá com ou sem o projeto. Por exemplo, um projeto agrícola pode ser justificado pelo aumento da oferta de alimentos que acarretará. Se esse aumento for quantificado em relação à situação antes da sua implementação, estar-se-á necessariamente supondo que a produção de alimentos permanecerá estagnada na região. Se isso for falso, a avaliação estará introduzindo uma tendenciosidade que favorecerá a aprovação do projeto. O correto é comparar a situação com e sem o projeto para poder avaliar as suas reais contribuições.
- ⇒ Custo de oportunidade: Um projeto será viável economicamente quando seus benefícios superarem seus custos. Ele terá méritos econômicos se for a opção mais eficiente de investimento, do ponto de vista econômico. Essa questão de eficiência econômica remete à consideração de custo de oportunidade. O custo de oportunidade é o benefício que é perdido pela utilização dos recursos no projeto. A consideração do custo de oportunidade dos recursos investidos em um projeto visa, portanto, assegurar que esse projeto é a opção mais eficiente do ponto de vista econômico para a inversão desses recursos.
- ⇒ Consideração de valores incrementais: A consideração de valores incrementais faz parte da avaliação da dimensão ótima de um projeto ou da análise de projetos com múltiplos propósitos. Em qualquer caso, o custo incremental do aumento da dimensão de um projeto, ou da introdução de um propósito, deve ser superado por benefícios incrementais. Essa consideração é, portanto óbvia: se os custos incrementais não forem justificados pelos benefícios incrementais, não há porque se fazer o investimento.
- ⇒ Valores intangíveis: Na análise econômica são considerados os valores que possam ser expressos de forma econômica, através de unidades monetárias. Existem alguns valores no mundo real, porém, que não podem ser quantificados nesses termos. Por exemplo, existem restrições filosóficas e ideológicas para que a vida humana seja quantificada economicamente. Contudo ela poderá ser quantificada em seus próprios termos: um projeto que preserve mais vidas humanas é superior àquele que preserve menos. Esses valores são denominados valores intangíveis comensuráveis. Existem outros valores no mundo real que nem podem ser quantificados em termos de unidades monetárias

e tão pouco em seus próprios termos, já que não são divisíveis. Por exemplo, a preservação de espécies em extinção ou de um local de valor cênico, histórico ou arqueológico. Esses valores são denominados intangíveis não-comensuráveis. O fato de existirem valores intangíveis no mundo real não deve ser entendido que eles não devam ou não possam ser considerados na avaliação de projetos. Nesse ponto, o próprio nome com que são tradicionalmente referidos pode dar uma idéia errônea de suas naturezas. Eles apenas não podem ser avaliados de forma direta em análise econômica. Mas deverão ser avaliados em outros tipos de análise. Por exemplo, na Avaliação do Impacto Social ou Ambiental do Projeto.

⇒ Intervalos Temporais de Interesse: Lanna (2001) descreve que existem alguns intervalos temporais que medem períodos de interesse em análise econômica, alguns deles são:

- ✓ Vida útil ou econômica de um projeto: Trata-se do intervalo de tempo que vai do início da operação do projeto até o instante em que essa operação se realiza de forma não econômica. Isso pode ser aplicado tanto ao projeto como um todo como a componentes. Em outros termos, trata-se do período de operação até a obsolescência do projeto ou de seu componente.
- ✓ Vida física: A vida física se refere ao período em que é possível a operação, sob qualquer condição, mesmo não-econômica, de um projeto ou componente de projeto. Logo, a vida física é pelo menos igual, e normalmente maior, que a vida útil ou econômica.
- ✓ Período de análise: Como o próprio nome diz, esse período é aquele selecionado para realização de uma análise dentro do escopo da engenharia econômica. A avaliação do projeto é realizada dentro desse período. Ele deverá ser geralmente menor que a vida útil quando a viabilidade econômica do projeto estiver em pauta e deverá ser certamente menor que a vida física do projeto. Diferentemente, quando a viabilidade financeira está em pauta o período de análise deverá se estender até que os pagamentos exigidos à entidade sob cujo ponto de vista se faz a análise possam, sem qualquer dúvida, serem atendidos pelos retornos. Quando duas alternativas estiverem sendo comparadas elas deverão ter o mesmo período de análise. Isso evita que sejam

privilegiados projetos que retornam seus investimentos a curto ou longo prazos. Se as alternativas tiverem vida úteis diferentes duas abordagens poderão ser estabelecidas de forma a homogeneizar os períodos de análise.

A dimensão econômica refere-se ao manejo de bens e materiais de forma sustentável a fim de criar um balanço entre as entradas e saídas financeiras. De acordo com Consalter (2008), essa dimensão trata do manejo sustentável dos recursos naturais que devem produzir uma rentabilidade que faz atrativa a sua continuação, é traduzida no sentido que o sistema em uso produza uma rentabilidade razoável e estável através dos tempos.

Segundo Azevedo (2002), na economia ecológica, o valor econômico leva em consideração o valor de uso e o valor de não-uso. O primeiro se remete a bens e serviços que são consumidos no presente e de exploração de recursos, já os de não-uso são os que refletem questões de ordem moral ou ética.

Um resíduo pode ser um material que se encontra sob uma forma ou num meio inadequado. Para colocá-lo novamente numa forma ou num meio adequado ao uso produtivo requer-se energia. Igualmente há um custo a pagar para os resíduos que se pretendem eliminar de forma segura.

A análise econômica da gestão de resíduos deve ser avaliada de forma integrada, realizando análises de custo/benefício para diferentes opções de gestão de um dado tipo de resíduo, estes custos/benefícios devem ser medidos em termos de impacto de bem-estar social e de saúde pública.

Na hierarquia da gestão de resíduos sólidos figura em primeiro lugar a “redução de resíduos”. Mas este princípio de gestão também tem os seus custos e perda de benefícios.

## **2.7 Passivo Ambiental**

Segundo o SEBRAE (1996), passivo ambiental é parte do “resultado econômico de uma empresa passível de ser sacrificado em função das necessidades da preservação, recuperação e proteção do meio ambiente”. Com isso, entende-se que um resíduo industrial deixa de ser considerado passivo ambiental quando passa por um determinado processo de tratamento até chegar a um destino final apropriado.



Em instalações de grande e médio porte, a repercussão de um acidente que venha provocar algum prejuízo ambiental ou a saúde daqueles envolvidos de forma direta ou não com a empresa, sem dúvidas irá provocar um abalo na imagem da companhia. Existe hoje uma certa movimentação na tentativa de melhorar cada processo industrial, quer seja através de investimentos em automação, treinamento de pessoal ou qualquer outra forma para tentar reduzir o material residual de final de processo. As empresas estão mas conscientes de que não basta estocar o passivo ambiental em uma área distante no próprio terreno da companhia a espera de que no futuro “alguém possa fazer alguma coisa a respeito daquele material”, ou então, faz-se a seguinte afirmativa: “depois resolvo sobre aquilo” (SILVA, 2001b).

A busca rápida, ao mesmo tempo satisfatória, para se dar um destino apropriado aos passivos ambientais, requer grandes investimentos, grandes estruturas, técnicos especializados, capacitação constante de profissionais, um rígido Sistema de Gerência Ambiental interno e, em muitas das vezes, uma conscientização da importância de trabalho em parceria (SILVA, 2001b).

## **2.8 Considerações do Capítulo**

Os resíduos sólidos gerado num processo produtivo podem ser considerados como perda de matéria prima. A classificação dos resíduos sólidos adequada tem como objetivo avaliar o tipo de tratamento e a disposição ambiental mais segura no meio ambiente.

Os programas de prevenção a poluição são aplicados de forma a evitar ou minimizar as perdas de matéria prima no processo produtivo, estes programas podem variar de acordo com a estratégia da organização.

O levantamento dos resíduos sólidos é realizado através de um inventário que identificar os locais de geração, os aspectos qualitativos e quantitativos, diante destas informações podem avaliar a necessidade de criar um programa de gestão ambiental.

A análise econômica visa identificar e quantificar os custos necessários a serem aplicados a uma determinada alternativa considerada por uma empresa.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 Descrições das Áreas de Estudo**

A empresa Braskem foi formada em agosto de 2002, quando os grupos Odebrecht e Mariani integraram seus ativos petroquímicos à Copene Petroquímica do Nordeste S.A., antiga central de matérias-primas petroquímicas do pólo de Camaçari, na Bahia, que controlavam desde 2001.

A primeira geração é responsável pelo ciclo de negócios ligados à produção de matérias-primas básicas como eteno, propeno e cloro, fundamentais para a segunda geração, que cuida das resinas termoplásticas. Por estar integrada na cadeia produtiva, a Braskem têm grandes vantagens competitivas, como escalas de produção e eficiência operacional.

A empresa Braskem produz mais de 15 milhões de toneladas/ano de resinas termoplásticas e outros produtos petroquímicos. Artigos como escovas de cabelos ou dentes, mamadeiras, utensílios domésticos, mochilas, embalagens, componentes automotivos, peças de computador, sacolas, fios, cabos, esquadrias de janelas, entre outros, são feitos de resinas termoplásticas tais como polietileno, polipropileno e Policloreto de Vinila (PVC), que constituem o foco dos negócios da empresa.

As áreas em estudo a serem descritas compreendem as unidade da Companhia Alagoas Industrial (CINAL), que foi incorporada à unidade da Braskem PVC em dezembro do ano de 2010, a Braskem PVC e a Braskem Cloro Soda (CS) em Alagoas.

##### **3.1.1 Descrição do Processo da Extinta Cinal**

A Companhia Alagoas Industrial (CINAL), localizada no Pólo Industrial José Aprígio Vilela, no Município de Marechal Deodoro, Estado de Alagoas, foi criada em 1982, com os seguintes objetivos:

- ✓ Preparar a urbanização de um Pólo Industrial (originalmente Pólo Cloroquímico de Alagoas) e ceder, mediante contrato de aquisição, os terrenos para implantação de indústrias no referido Distrito;
- ✓ Operar uma Central de Utilidades e de Prestação de Serviços para atendimento a indústrias que viessem a se implantar no mencionado Pólo Industrial. Esta central de Utilidades desde 2006 passou a compor a unidade da Braskem PVC-AL.

A maioria dos Serviços prestados pela empresa CINAL está relacionada à proteção do Meio Ambiente. As áreas de sua propriedade destinam-se a empreendimentos industriais e à preservação ambiental.

A CINAL está licenciada pelo órgão do Meio Ambiente do Estado de Alagoas, o Instituto do Meio Ambiente do Estado de Alagoas (IMA-AL). Os serviços de atuação da Cinal estão no seguimento de tratamento de efluentes líquidos inorgânicos e orgânicos, com descarte oceânico, coleta, transporte e disposição final de resíduos sólidos perigosos e não perigosos e Incineração de compostos orgânicos líquidos, principalmente organoclorados (OC).

As unidades operacionais da CINAL estão situadas no Distrito Industrial de Marechal Deodoro, no município de mesmo nome, estado de Alagoas. O Distrito está localizado no Tabuleiro de Marechal Deodoro, a 80 metros acima do nível do mar, distante 15 km do porto de Maceió. A partir de dezembro de 2010 a CINAL com as suas atividades de serviços ambientais (unidade de resíduos sólidos industriais, unidade de incineração de resíduos líquidos perigosos, unidade de tratamento de efluentes), foi incorporada pela Braskem unidade de PVC de Alagoas, deixando de existir como razão social. Neste trabalho, mesmo com a incorporação da empresa Cinal pela Braskem, vamos apresentar os dados da Cinal, como “Extinta Cinal”.

A seguir são descritas de forma sucinta as unidades de resíduos sólidos industriais, a unidade de incineração de resíduos líquidos perigosos e a unidade de tratamento de efluentes da extinta Cinal:

⇒ Unidade de Resíduos Sólidos Industriais

Abrange uma área de 20 ha, localizada a 1 km do Pólo Industrial, toda cercada e dotada de uma cortina verde composta de árvores, dispondo de poços de monitoramento do lençol freático (80 m de profundidade).

Os valos destinados à disposição de resíduos sólidos classe I são totalmente revestidos com manta dupla de polietileno de alta densidade e por argila compactada no fundo e nos taludes numa espessura de 50 cm, de forma a impermeabilizar todo o valo, enquanto que nos valos para resíduos classe II A, são totalmente revestidos com manta simples de polietileno de alta densidade e por argila compactada no fundo e nos taludes numa espessura de 50 cm, de forma a impermeabilizar todo o valo. O lixiviado proveniente dos valos é conduzido a tanques de coleta, que é bombeado posteriormente para a unidade de tratamento de efluentes da Cinal, por meio de bombas através de um duto. A figura 23 apresenta uma vista aérea da unidade de resíduos sólidos industriais.

Figura 23- Vista aérea da unidade de resíduos sólidos industriais.



Fonte: (Autor, 1998).

Na concepção do Sistema de Coleta e Disposição Final dos Resíduos Sólidos foram obedecidos os critérios estabelecidos na NBR 10004/2004 (ABNT), onde os resíduos são caracterizados e coletados separadamente de acordo com as Classes I, II A e IIB e encaminhados ao destino final já devidamente selecionado. A qualificação e quantificação devem ser efetuadas nas próprias indústrias geradoras, antes do envio para a unidade de resíduo sólido da Braskem Alagoas.

A tabela 12 apresenta o fluxo operacional versus a principal geração de resíduos sólidos na unidade de resíduos sólidos industriais.

Tabela 12- Fluxo operacional versus geração principal de resíduos sólidos na unidade de resíduos sólidos industriais.

Entrada	Processo	Saída
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Água</li> <li>• Energia elétrica</li> <li>• Resíduos Sólidos (varrição de ruas)</li> <li>• Lâmpadas fluorescentes</li> </ul>	Unidade de resíduos sólidos industriais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reciclagem das lâmpadas fora da empresa em uma recicladora licenciada pelo órgão ambiental competente</li> <li>• Resíduos sólidos decorrente de manutenção</li> </ul>

Fonte: (Autor, 2011).

#### ⇒ Unidade de Incineração de Resíduo Líquido Perigosos

O sistema atual foi projetado para incinerar resíduos líquidos e é constituído basicamente por: um Incinerador de capacidade de incineração de 1.815 kg/h (para um mix de 75% de Hidrocarboneto Clorado Seco (HCS) e 25% de Hidrocarboneto Clorado Úmido (HCU), uma caldeira recuperadora de calor com capacidade de 8.000 kg/h de geração de vapor e 6.000.000 kcal/h de carga térmica, um sistema de resfriamento dos gases (Quencher), uma torre de absorção/lavagem dos gases da combustão, tanques de armazenamento de ácido clorídrico (HCl), tanques de armazenamento de resíduos organoclorados (OC), um conjunto de bombas de transferência/alimentação de resíduos, soda cáustica e solução de uréia, tanques de preparo de solução de uréia e de soda cáustica e tanques de fibra para recebimento de efluentes da torre de lavagem e das canaletas da área de processo.

Os resíduos organoclorados (HCS e HCU) recebidos na extinta Cinal, são armazenados em tanques de aço carbono. O resíduo a ser incinerado é bombeado para os dois queimadores localizados no incinerador (F-701) onde são atomizados com ar de serviço. O queimador n.º 01 tem uma capacidade de queima de 700 kg/h enquanto o queimador n.º 02 disponibiliza 1.130 kg/h. O ar de combustão é insuflado por um ventilador de tiragem forçada. Com o objetivo de controlar a formação de gás Cl<sub>2</sub> no incinerador é injetado vapor de baixa e ocasionalmente água de

processo. A temperatura no incinerador pode ficar entre 1300°C e 1450°C, dependendo do tipo de resíduo.

Os gases incinerados são compostos de H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, HCl, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e uma pequena quantidade de CO e Cl<sub>2</sub>. Este fluxo é direcionado para o gerador de vapor (GV-701), onde boa parte do calor sensível dos gases de combustão é recuperado pelo gerador de vapor. Os gases na saída do gerador de vapor estão resfriados aproximadamente a 300°C, antes de entrar no resfriador do quencher (P-701).

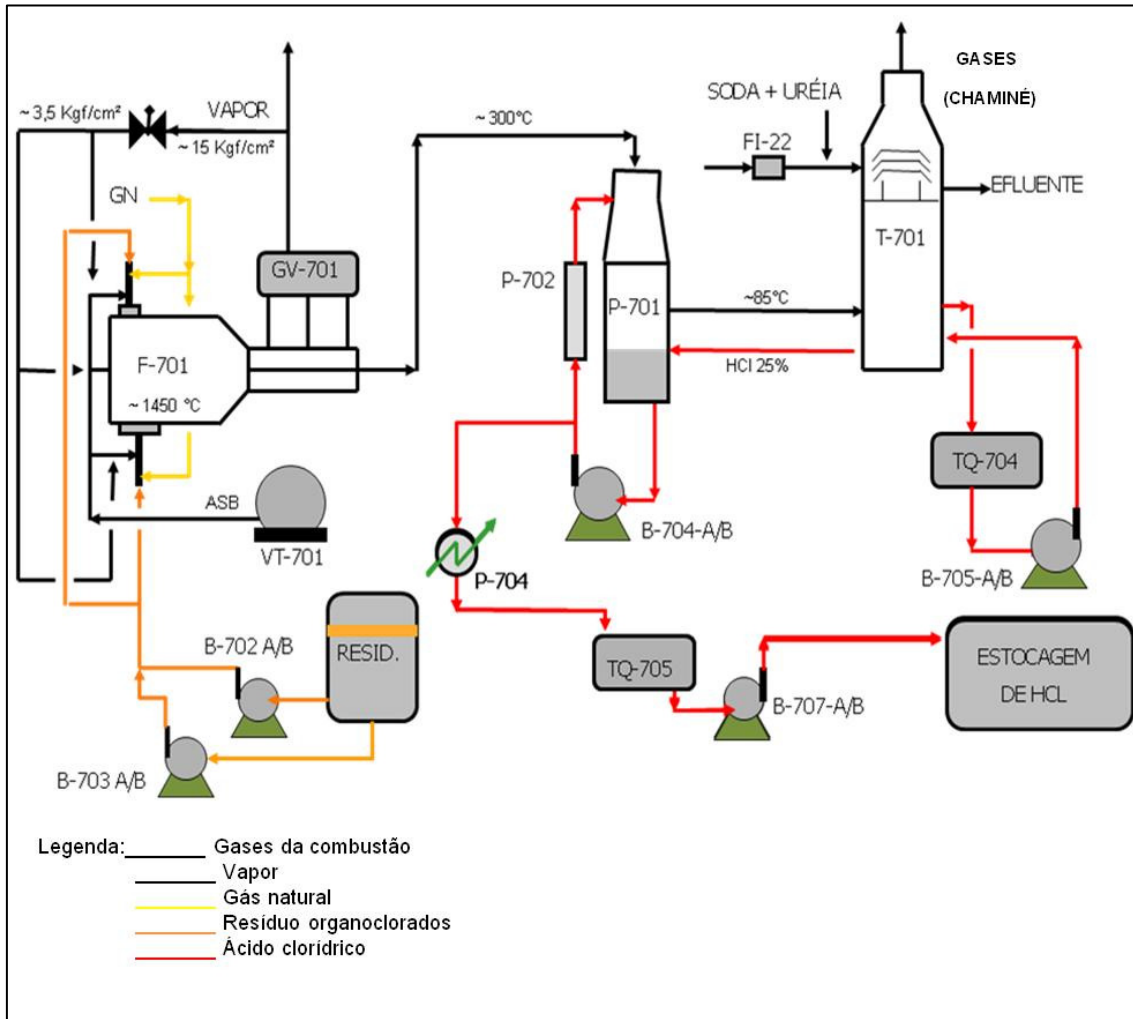
Estes gases são resfriados no quencher pelo contato direto com o ácido clorídrico (HCl) circulante a 25% de concentração, e o calor absorvido por este ácido é trocado no resfriador do quencher (P-702).

Os gases remanescentes do quencher são enviados para a torre absorvedora. Os gases a 80°C no máximo entram pelo fundo da coluna de absorção, que contém bandejas com borbulhadores, e encontram uma corrente circulante de água clarificada em contra corrente. O excesso de HCl a 25% de concentração gerada na torre de absorção é enviado ao tanque de estocagem (TQ-705) e deste para a área de estocagem de HCl.

Os gases que saem da torre de absorção são lavados em contra corrente com uma solução de soda cáustica para eliminar uma pequena quantidade de gás cloro e HCl. Nesta corrente também é injetada uma solução de uréia para reduzir a cloreto o hipoclorito de sódio, decorrente da reação do gás cloro com a soda cáustica. À água de lavagem destes gases (efluente alcalino) é direcionada por gravidade para um tanque de neutralização.

A figura 24 apresenta um fluxograma da unidade de incineração de resíduos líquidos perigosos.

Figura 24- Fluxograma processo unidade de incineração de resíduos líquidos perigosos.



Fonte: (Autor, 2009).

A tabela 13 apresenta o fluxo operacional versus a principal geração de resíduos sólidos na unidade de incineração de resíduos líquidos perigosos.

Tabela 13- Fluxo operacional versus geração principal de resíduos sólidos na unidade de incineração de resíduos líquidos perigosos.

Entrada	Processo	Saída
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resíduos organoclorados (HCS, HCU)</li> <li>• Nitrogênio</li> <li>• Vapor</li> <li>• Energia Elétrica</li> <li>• Gás Natural</li> <li>• Água</li> <li>• Soda Cáustica</li> <li>• Uréia</li> </ul>	<p>Unidade de incineração de resíduos líquidos perigosos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resíduos Sólidos da limpeza dos tubos da caldeira</li> <li>• Filtro da chaminé (demistir)</li> <li>• Resíduos sólidos decorrente de manutenção</li> <li>• Resíduos Sólidos (varrição de ruas)</li> </ul>

Fonte: (Autor, 2011).

⇒ Unidade de Tratamento de Efluentes

A Unidade de tratamento de efluentes (UTE) tem capacidade para tratar diariamente 4.000 m<sup>3</sup> de efluentes orgânicos, que são biodegradados pelo processo de lodos ativados, podendo remover até 3.000 kg/dia de Demanda biológica de oxigênio (DBO).

O tratamento compreende:

1. A remoção de sólidos flutuantes de dimensões diversas por Gradeamento – as *grades* retêm sólidos grosseiros, para proteger bombas, válvulas e outros equipamentos contra obstruções.
2. A remoção de sólidos em suspensão e areias, por Sedimentação – destina-se a separar, por diferença de densidade, os sólidos sedimentáveis trazidos pelas correntes que chegam à estação de tratamento; geralmente esses detritos são constituídos de areia e outras partículas pesadas.
3. A separação de matéria oleosa – são retentores, onde se verifica a redução da velocidade do efluente, permitindo a formação de uma *escuma* dos materiais menos densos que a água, a qual é vertida para uma meia-cana, enquanto o efluente depurado da matéria oleosa segue seu caminho. A matéria oleosa é recolhida em um recipiente, para sofrer tratamento específico.
4. A passagem pelo tanque de equalização, onde é possível ajustar-se o pH dos efluentes brutos (sem tratamento) e a dosagem de nutrientes, principalmente cálcio, nitrogênio e fósforo, necessários à alimentação dos microorganismos que irão realizar a degradação da matéria orgânica; o tanque de equalização possui 4 aeradores flutuantes e nele se inicia o processo de degradação.
5. O processo de lodos ativados, efetuado no Tanque de aeração, onde, através de oxigenação intensa os microorganismos (Bactérias, fungos, algas, protozoários, rotíferos, crustáceos, vírus) transformam a matéria orgânica em gás carbônico, amônia, e principalmente energia. A energia serve para realizar a síntese de proteínas e a multiplicação dos microorganismos, que se agrupam em flocos.
6. A decantação do lodo, separando-o do efluente tratado, o qual segue para descarte oceânico; o lodo tem uma parte retornando para o processo, uma vez que se trata de matéria viva, necessária à continuação do processo.



7. O tratamento do lodo em excesso, por meio de um adensador (elimina em torno de 3 a 4% de água), um biodigestor (para eliminar a carga orgânica residual) e um leito de secagem do lodo mineralizado.

Os efluentes inorgânicos, inclusive as águas pluviais, vão para uma lagoa de estabilização, que pode acumular 650.000 m<sup>3</sup> de efluentes.

Os efluentes tratados e estabilizados são enviados para o oceano Atlântico, através do emissário terrestre da Braskem Cloro Soda em Alagoas, com 10 km de extensão, o qual se interliga a ao emissário submarino de 3 km de extensão, também de responsabilidade da Braskem Cloro Soda Alagoas, este descarte oceânico se dá a 20 m de profundidade, a 3.000 m da área balneável, obtendo-se diluições iniciais de até 1:1.700.

Os padrões de atendimento para descarte oceânico dos efluentes tratados devem obedecer à legislação Federal (Resolução CONAMA 430/2011) e à legislação Estadual (Decreto Estadual 6200/1985).

A figura 25 apresenta uma vista aérea da unidade de tratamento de efluentes.

Figura 25- Vista aérea da unidade de tratamento de efluentes.



Fonte: (Autor, 1998).

A tabela 14 apresenta o fluxo operacional versus a principal geração de resíduos sólidos na unidade de tratamento de efluentes.

Tabela 14- Fluxo operacional versus geração principal de resíduos sólidos na unidade de tratamento de efluentes.

Entrada	Processo	Saída
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efluente orgânico</li> <li>• Efluente inorgânico</li> <li>• Energia Elétrica</li> <li>• Nutrientes (se necessário)</li> </ul>	Unidade de tratamento de efluentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resíduos Sólidos da limpeza das grades de barras</li> <li>• Areia e óleo do separador de areia e óleo da entrada da UTE</li> <li>• Lodo do decantador</li> <li>• Lodo seco do leito de secagem</li> <li>• Lodo do espessador de lodo</li> <li>• Lodo do digestor de lodo</li> <li>• Areia e óleo do separador de areia e óleo da bacia de emergência</li> <li>• Resíduos Sólidos (varrição de ruas)</li> <li>• Sólidos da bacia de emergência</li> <li>• Sólidos da bacia de homogeneização</li> <li>• Sólidos do tanque de aeração</li> <li>• Sólidos do tanque de equalização</li> <li>• Resíduos sólidos decorrente de manutenção</li> </ul>

Fonte: (Autor, 2011).

### 3.1.2 Descrição do Processo da Braskem PVC Alagoas

A seguir são descritas as unidades de tratamento de água, de geração de vapor, transferência de produtos por dutos, o processo de Monocloreto de Vinila (MVC) e o processo de Policloreto de Vinila (PVC):

⇒ Tratamento de água

A unidade de tratamento de água é composta pelos seguintes sistemas: sistema de água bruta, sistema de água clarificada e filtrada, sistema de água potável e sistema de água desmineralizada, em seguida serão descritos cada processo de forma sucinta.

Sistema de água bruta: A água bruta é captada no Rio dos Remédios através de um sistema de bombeio, sendo clorada antes da entrada no tanque de água bruta, a fim de garantir um residual de Cloro de 0,1 parte por milhão (ppm), em seguida esta água é bombeada para o sistema de clarificação.

A figura 26 apresenta uma vista do tanque de água bruta e do sistema de água de incêndio.

Figura 26- Vista do tanque de água bruta.



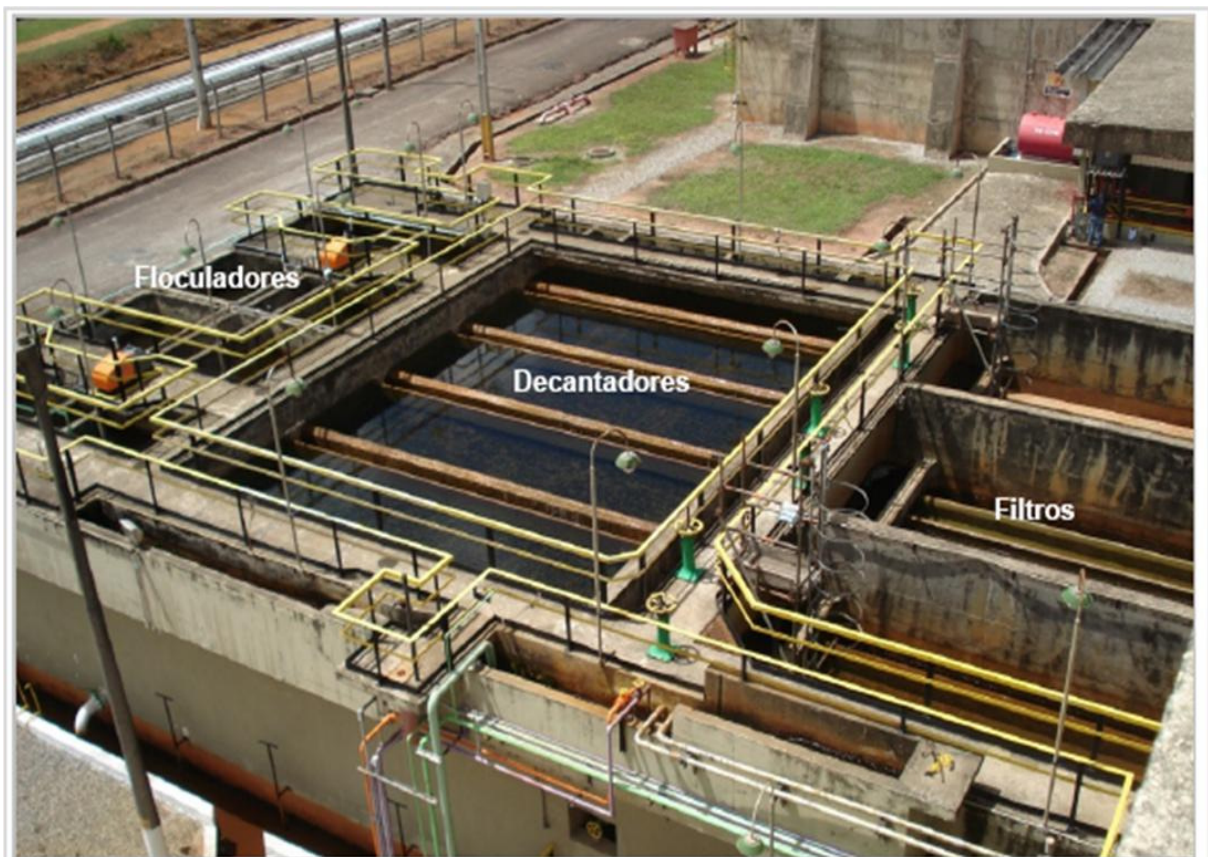
Fonte: (Autor, 2007).

Sistema de água clarificada e filtrada: A água bruta proveniente do tanque de água bruta é amortecida e homogeneizada numa caixa de concreto sendo adicionado ao fluxo o agente floculante (solução de Sulfato de Alumínio) e é adicionado também uma solução de soda cáustica para correção do potencial hidrogeniônico (pH) da água. Em seguida a água passa por uma calha Parshall para medição de fluxo,

entrando nos floculadores, que são dotados de agitadores com velocidades de rotação moderada e decrescente, de forma a provocar o adensamento dos flocos pela neutralização das cargas negativas existentes no material em suspensão. A água oriunda dos floculadores alimenta o decantador onde o recheio existente (módulos tubulares) irá provocar o aumento da perda de carga dos flocos provocando a sua decantação. O lodo decantado é removido pela parte inferior do decantador, a água de saída do vertedor do decantador vai para os filtros. Estes são compostos de uma camada de seixos, uma de antracito e outra de areia. A água proveniente do filtro vai para o tanque de água filtrada e deste para o tanque de água clarificada que é transferida para os sistemas de água potável e de água desmineralizada.

A figura 27 apresenta uma vista do sistema de água clarificada e filtrada.

Figura 27- Vista do sistema de água clarificada e filtrada.



Fonte: (Autor, 2007).

Sistema de água potável: A água Clarificada é previamente clorada por uma solução de Hipoclorito de Sódio a 2,5% a fim de garantir a eliminação dos microorganismos

patogênicos, em seguida é armazenada no tanque de água potável e transferida para os diversos pontos da Braskem PVC Alagoas e a extinta Cinal.

A figura 28 apresenta uma vista do sistema de água potável (tanque e bombas).

Figura 28- Vista do sistema de água potável (tanque e bombas).



Fonte: (Autor, 2007).

Sistema de desmineralização: A água clarificada proveniente do tanque de água clarificada é transferida por meio de bombas, passando pelo filtro de carvão ativo, para remoção de cloro e matéria orgânica. Em seguida, a água vai para o leito de resina catiônico para a remoção principalmente dos íons cálcio, magnésio e sódio. Esta água isenta de cátions vai para a torre degaseificadora para a remoção do dióxido de carbono, através do fluxo de ar promovido por um soprador. Através de bombas de transferência, a água é dirigida para o leito de resina aniônico para a remoção principalmente dos íons sulfatos, bicarbonatos, cloretos e sílica. A água em

seguida vai o leito de resina catiônica e aniônica, denominado de leito misto, para realizar o polimento final, isto é, remover qualquer resíduo de íons de sódio ou sílica que possa ter escapado dos leitos de resina anteriores. A água desmineralizada é armazenada no tanque de água desmineralizada, em seguida é transferida para as caldeiras e para a área de produção de PVC.

A figura 29 apresenta uma vista do sistema de desmineralização.

Figura 29- Vista do sistema de desmineralização.



Fonte: (Autor, 2007).

A tabela 15 apresenta o fluxo operacional versus a principal geração de resíduos sólidos na unidade de tratamento de água.

Tabela 15- Fluxo operacional versus geração principal de resíduos sólidos na unidade de tratamento de água.

Entrada	Processo	Saída
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Água</li> <li>• Energia Elétrica</li> <li>• Produtos químicos (tratamento da água)</li> </ul>	Unidade de tratamento de água	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resíduos Sólidos (varrição de ruas)</li> <li>• Resíduos sólidos decorrente de manutenção</li> <li>• Lodo do processo de clarificação</li> <li>• Recipientes de produtos químicos</li> <li>• Resíduo do filtro de carvão</li> <li>• Distribuidores dos leitos de resinas</li> <li>• Porcelana da torre degaseificadora</li> <li>• Resinas de troca iônica (catiônica e aniônica)</li> <li>• Resíduos dos módulos tubulares presente no decantador</li> </ul>

Fonte: (Autor, 2011).

### ⇒ Geração de vapor

A água desmineralizada proveniente da unidade tratamento de água é enviada ao Desaerador, a fim de ajudar na remoção dos gases dissolvidos (oxigênio e dióxido de carbono) pela diminuição da solubilidade devido à redução de pressão e aumento de temperatura, através da adição de vapor e desta para as caldeiras.

As caldeiras só queimam gás natural em suas fornalhas e produzem vapor superaquecido (sem a presença de umidade) a uma pressão de 42 kg/cm<sup>2</sup> e uma temperatura de 415°C.

A figura 30 apresenta uma vista aérea da unidade de geração de vapor.

Figura 30- Vista aérea da geração de vapor.



Fonte: (Autor, 1998).

A tabela 16 apresenta o fluxo operacional versus a principal geração de resíduos sólidos na unidade de geração de vapor.

Tabela 16- Fluxo operacional versus geração principal de resíduos sólidos na unidade de geração de vapor.

Entrada	Processo	Saída
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Água</li> <li>• Energia Elétrica</li> <li>• Produtos químicos (tratamento da caldeira)</li> <li>• Gás natural</li> </ul>	<p style="text-align: center;">Unidade de geração de vapor</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resíduos Sólidos (varrição de ruas)</li> <li>• Resíduos sólidos decorrente de manutenção</li> <li>• Recipientes de produtos químicos</li> </ul>

Fonte: (Autor, 2011).



⇒ Transferência de produtos por dutos (Tubovia)

A tubovia instalada no pólo industrial José Aprício Vilela, localizado em Marechal Deodoro interliga a Braskem PVC a Braskem Cloro Soda, situados na região da restinga do Pontal da Barra, no município de Maceió, estado de Alagoas. Foram instaladas as linhas de transferência de dicloreto, nitrogênio, eteno e os efluentes tratados. A tubovia percorre cerca de 10 km e é enterrada em todo o trajeto, exceto nas travessias dos canais das lagoas Manguaba e Mundaú onde são aéreas.

A figura 31 apresenta uma vista das tubulações instaladas na tubovia.

Figura 31- Vista das tubulações instaladas na tubovia.



Fonte: (Autor, 2006).

A tabela 17 apresenta o fluxo operacional versus a principal geração de resíduos sólidos na tubovia.

Tabela 17- Fluxo operacional versus geração principal de resíduos sólidos da tubovia.

Entrada	Processo	Saída
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energia Elétrica</li> <li>• Dicloroetano</li> <li>• Nitrogênio</li> <li>• Eteno</li> <li>• Efluente</li> </ul>	Tubovia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resíduos sólidos decorrente de manutenção</li> </ul>

Fonte: (Autor, 2011).

### ⇒ Processo de MVC

A Unidade de MVC produz Monocloreto de Vinila, matéria-prima para a produção da resina de PVC.

A Unidade de MVC consiste nas seguintes Áreas:

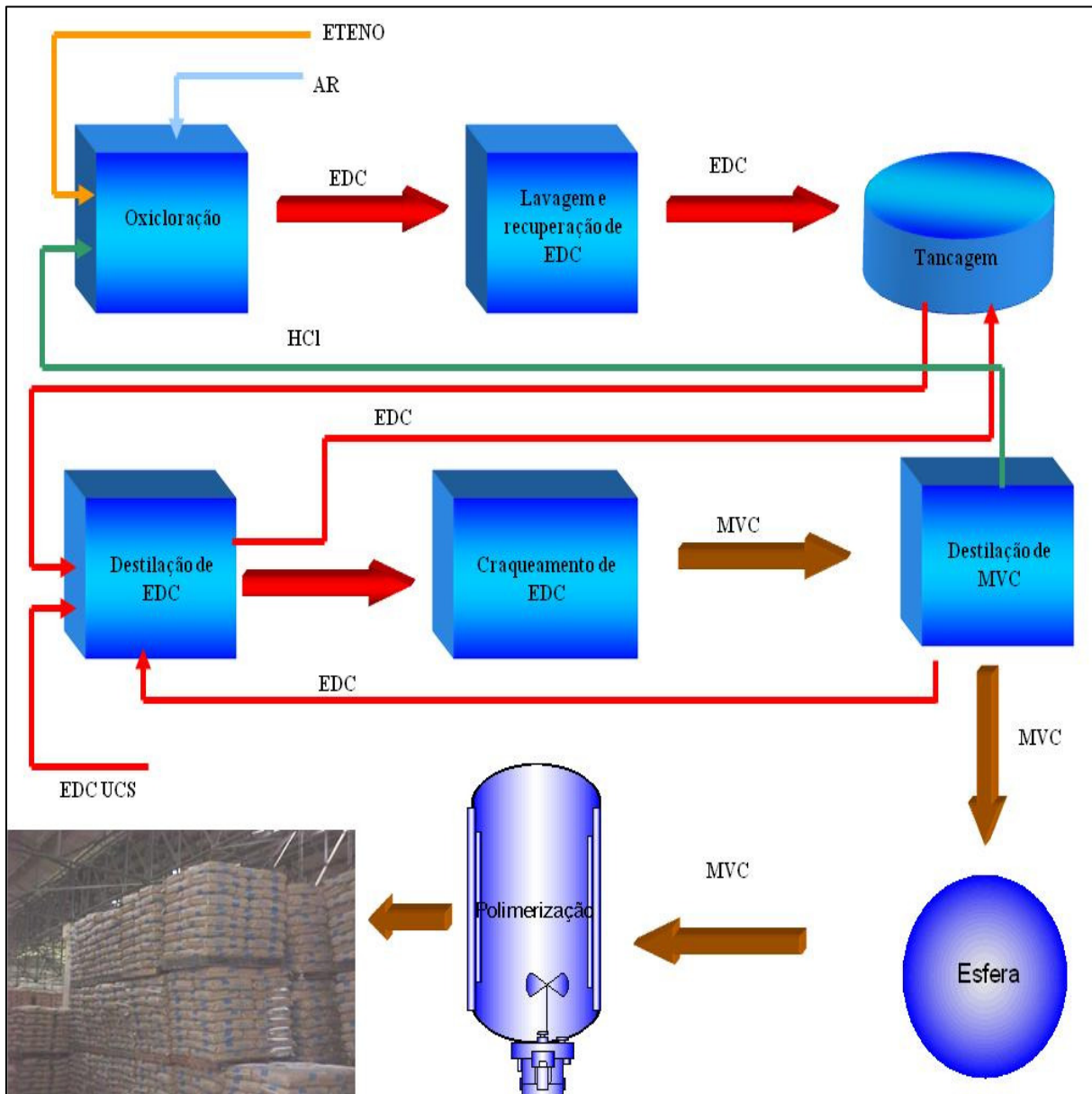
- ✓ ÁREAS 11 e 12 - Oxicloração e Recuperação de EDC: O principal equipamento é o reator de Oxicloração (R-1101), onde através de uma reação catalítica entre etileno, HCl e Ar, é produzido o EDC (Dicloroetano), matéria-prima para a produção de MVC. Os gases de reação, consistindo principalmente de EDC, Água, CO, CO<sub>2</sub>, Nitrogênio, Oxigênio, Etileno e HCl são enviados para a Torre T-1101, torre de arrefecimento, onde são resfriados em uma contra corrente de água e o HCl é absorvido. Os gases de reação, constituindo basicamente de Oxigênio, Nitrogênio, CO, CO<sub>2</sub> e fração de Etileno são enviados para a Área-19, Incineração.
- ✓ ÁREA-13 – Purificação de EDC: O EDC produzido no reator de Oxicloração mais o EDC puro recebido da Braskem CS/AL, juntos irão alimentar a Área-13, onde sofrerão um processo de purificação. O EDC puro e seco está pronto para ser craqueado na Área-14.
- ✓ ÁREA-14 – Craqueamento de EDC: Na Área 14, o EDC puro e seco sofre um processo de craqueamento, ou seja, as moléculas de EDC submetidas à alta pressão e alta temperatura nas fornalhas, irão se “quebrar” formando moléculas menores, que são o MVC e o HCl, que será purificado na área 15.
- ✓ ÁREA-15 – Purificação de MVC: É realizada a separação distinta do MVC e HCl. A primeira torre desta Área, é uma torre de destilação fracionada com a finalidade de separar somente o HCl das correntes nela contidas. O MVC é condensado em trocadores de calor e enviado para um vaso de refluxo, onde

parte é devolvida à torre sob forma de refluxo e parte vai ser estocada nas esferas após sofrer uma lavagem cáustica e absorção de água.

- ✓ ÁREA-19 – Incineração de efluentes gasosos: Diversas correntes gasosas da fase de processo, consistindo basicamente de incondensáveis e produtos intermediários sem aplicação no processo de MVC, são reunidas em diversas correntes e enviadas à área de incineração. O processo de incineração consiste em um forno, onde os gases são queimados. Os gases resultantes dessa combustão são em seguida resfriados, passam por duas torres absorvedoras, onde os gases absorvidos são retirados em meio aquoso e que será neutralizado posteriormente. Os gases consistindo de Oxigênio, Nitrogênio e pequenas concentrações de CO, CO<sub>2</sub> e Argônio são devolvidos à atmosfera na sua forma original, passando antes por uma torre de lavagem como garantia de eliminação de HCl e Cl<sub>2</sub>.
- ✓ ÁREA-94 – Tancagem de produtos: A Área de tanques está equipada com tanques fechados e selados com Nitrogênio, para a estocagem da matéria-prima da unidade e esferas para armazenamento do MVC produzido, para posterior envio à unidade de PVC.
- ✓ ÁREA-96 – Tratamento de efluentes líquidos: Nesta área o catalisador presente na corrente proveniente da área da Stripper é removido através de clarificação e posteriormente enviado para a unidade de tratamento de efluentes da Braskem PVC/AL.

A figura 32 apresenta um fluxograma do processo de MVC.

Figura 32- Fluxograma de processo do MVC.



Fonte: (Autor, 2011).

A tabela 18 apresenta o fluxo operacional versus a principal geração de resíduos sólidos dos processos de produção de MVC.

Tabela 18- Fluxo operacional versus geração principal de resíduos sólidos da produção de MVC.

Entrada	Processo	Saída
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energia Elétrica</li> <li>• Dicloroetano</li> <li>• Nitrogênio</li> <li>• Eteno</li> <li>• Efluente</li> <li>• Ácido Clorídrico</li> <li>• Vapor</li> <li>• Água</li> <li>• Gás natural</li> <li>• Produtos químicos</li> <li>• Freon</li> </ul>	<p>Produção de MVC</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resíduos sólidos decorrente de manutenção</li> <li>• Resíduo sólido do reator (catalizador)</li> <li>• Resíduo sólido do decantador (lama de catalizador)</li> <li>• HCS</li> <li>• HCU</li> <li>• Coque</li> <li>• Resíduos Sólidos (varrição de ruas)</li> </ul>

Fonte: (Autor, 2011).

#### ⇒ Processo de PVC

Neste processo a resina de PVC é obtida através de polimerização em suspensão. Esta polimerização em bateladas efetua-se em presença de água desmineralizada, iniciadores, dispersantes e outros produtos químicos auxiliares.

O produto final, a resina de PVC, é obtido em processo contínuo de desidratação e secagem.

O processo é constituído das seguintes áreas:

#### ✓ Área de polimerização

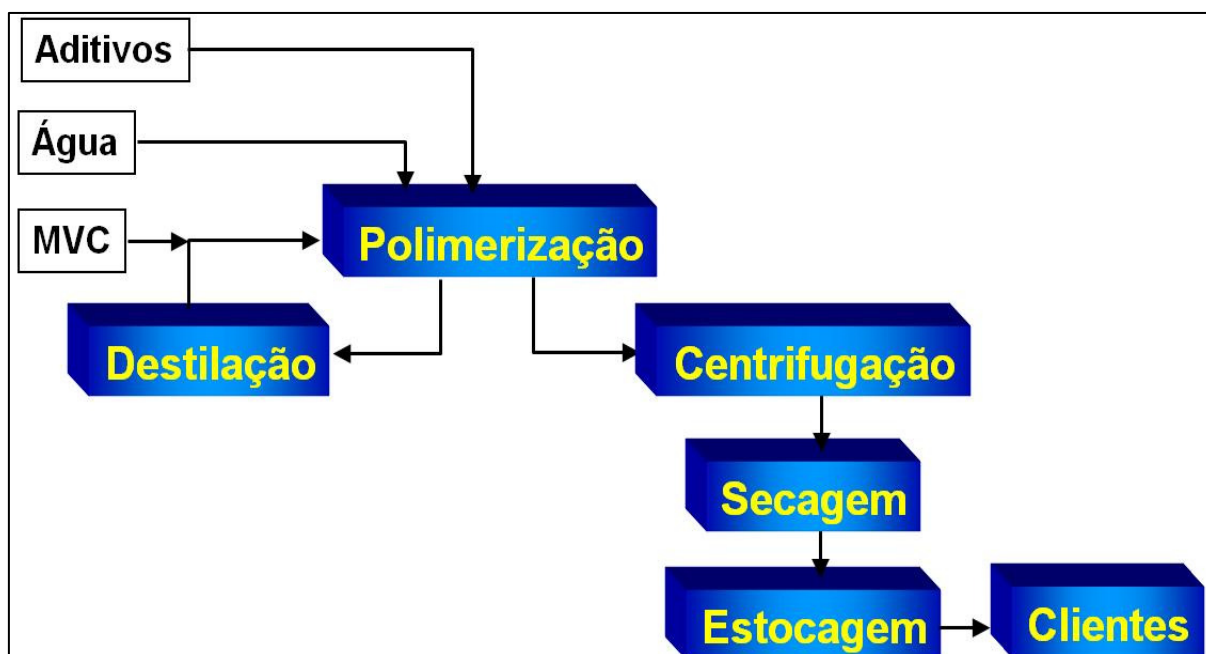
- a) Reação de polimerização: O MVC proveniente do processo de MVC, a água desmineralizada, iniciador e agente dispersante, em quantidades adequadas são alimentados ao reator e misturados. A reação de polimerização em suspensão do MVC é efetuada a uma pré-determinada temperatura de reação, que é função do tipo de grau de resina desejado. Concluída a reação, o PVC produzido no reator se apresenta em forma de lama
- b) Recuperação: Após o término da reação de polimerização, o MVC que não reagiu é recuperado sob o estado gasoso através da sua pressão própria e em seguida com uma bomba de vácuo.
- c) Pós-tratamento: Durante a recuperação do MVC que não reagiu, a lama de PVC é transferida para o pós-reator para reduzir o teor de MVC Residual na resina de PVC. A temperatura da lama de PVC é elevada através da injeção direta de

vapor, acompanhada de forte agitação. O MVC residual é assim reduzido a teores menores que 5 ppm, através de vácuo, como última etapa

- ✓ Área de desidratação (centrifugação) e secagem: A lama de PVC pós-tratada é descarregada do pós-reator para o tanque de lama, através de bombeio. A lama de PVC é continuamente alimentada à centrífuga, da qual se obtém o “bolo úmido”. Após a desidratação, o “bolo úmido” de PVC é alimentado ao secador de leito fluidizado contínuo e a umidade ainda existente no PVC é reduzida a teores menores que 0,3 %, caracterizando o produto final, sendo enviado para uma área de armazenamento e posteriormente vendido aos clientes.
- ✓ Área de recuperação de MVC não reagido e destilado (destilação): O MVC recuperado no estado gasoso é comprimido e condensado. O MVC liqüefeito, contendo impurezas é alimentado à seção de destilação onde é purificado. O MVC purificado é reutilizado, à razão de 15%, na polimerização.

A figura 33 apresenta um diagrama de bloco simplificado do processo de PVC.

Figura 33- Diagrama de bloco simplificado do processo de PVC.



Fonte: (Autor, 2011).

A tabela 19 apresenta o fluxo operacional versus a principal geração de resíduos sólidos dos processos de produção de PVC.

Tabela 19- Fluxo operacional versus geração principal de resíduos sólidos da produção de PVC.

Entrada	Processo	Saída
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energia Elétrica</li> <li>• Nitrogênio</li> <li>• MVC</li> <li>• Efluente</li> <li>• Vapor</li> <li>• Água</li> <li>• Produtos químicos</li> </ul>	Produção de PVC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resíduos sólidos decorrente de manutenção</li> <li>• Resíduos Sólidos (varrição de ruas)</li> <li>• Resíduo de embalagem de PVC</li> <li>• Resíduo de lama de PVC</li> <li>• Resíduo de serviço de saúde do setor médico</li> </ul>

Fonte: (Autor, 2011).

### 3.1.3. Descrição do Processo da Braskem Cloro Soda Alagoas

A mineração, área 500, é responsável pelo abastecimento de água e matéria-prima (salmoura). Essa atividade é realizada em poços d'água e poços de sal. Os poços de sal são profundos perfurados até cerca de 900 a 1200 metros. A extração de sal se dá através da solubilização do mesmo em água. O poço ao ser perfurado é colocado três tubos concêntricos, sendo que no tubo interno é injetada água, na primeira região anular é o retorno da salmoura e na segunda região anular é injetado o óleo diesel que é usado para controlar o crescimento do poço de sal. Desta forma, a salmoura é enviada para a unidade de CS/AL, através do salmouroduto de 8 Km.

As áreas destinadas ao armazenamento e ao tratamento de salmoura são a 227/327. A salmoura proveniente da mineração contém certas impurezas,  $Fe^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  e  $NH_3$ , que podem prejudicar o processo eletrolítico de fabricação de soda, cloro e hidrogênio.

Esta salmoura é estocada no tanque de salmoura bruta e posteriormente enviada para dois tanques de pré-reação, para eliminar estas impurezas, nos quais são adicionados licor, carbonato de sódio e polieletrólito (catalisador). Estes reagentes começam a reagir com as impurezas e formam  $Fe(OH)_3$ ,  $Mg(OH)_2$  e  $CaCO_3$ .

Daí a salmoura é transferida para dois tanques floco-decantadores nos quais os produtos precipitados decantam formando a "lama da salmoura". Esta lama formada é drenada pelo fundo do equipamento e é enviada à mineração para ser

estocada nas minas desativadas. Já a salmoura clarificada, que é retirada pela parte superior do tanque, passa por filtros de areia. Nestes filtros são retidas impurezas e com o tempo os filtros são promovidos de uma contra-lavagem. A salmoura resultante da contra-lavagem retorna para os tanques floco-decantadores. Toda a salmoura filtrada é transferida para o tanque de armazenamento de onde é enviada para as áreas 221/321.

A área 221/321 é responsável pelo resfriamento de hidrogênio e ressaturação de salmoura. A salmoura tratada proveniente do tanque de armazenamento é alimentada na coluna de hidrogênio. Nesta coluna há contato direto do hidrogênio com a salmoura fazendo com que o primeiro esfrie e perca água, enquanto o segundo aqueça e ganhe água. Esta salmoura aquecida e diluída é recebida nos tanques de salmoura aquecida de onde é transferida para os tanques de ressaturação. Antes de alimentar os tanques de ressaturação, a salmoura recebe a injeção de água clorada para controlar o teor de amônia presente na salmoura.

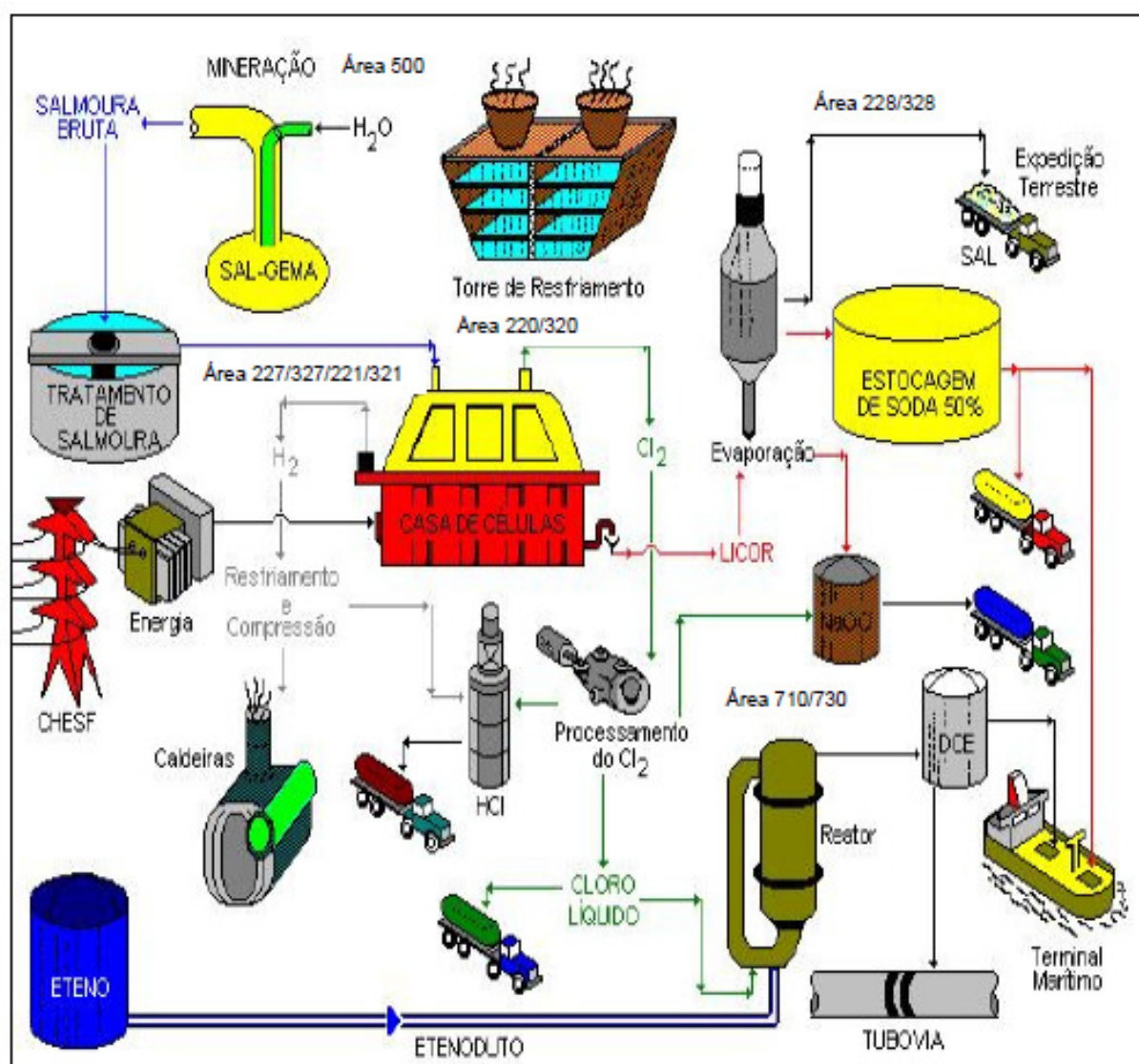
Já nos tanques de ressaturação a salmoura atravessa um leito de sal aumentando a sua concentração. Daí segue para os tanques de acidificação onde seu pH é ajustado pela injeção de ácido clorídrico. Daí é enviada às casas de células (área 220/320), que ocorre o processo de eletrolise. A área de eletrólise é onde são produzidos o cloro, o hidrogênio e o licor de células que posteriormente após processamento vai se transformar em soda cáustica. O processo de produção de EDC (área 710/730), se baseia na reação exotérmica de adição do cloro ao eteno; este eteno vem da Braskem unidade de Insumos Básicos, localizado no município de Camaçari-BA, catalisada por cloreto férrico, seguida de um processo de lavagem e secagem, para estocagem final e disponibilização para uso.

O sal recuperado da concentração da soda, área 228/328, é fluidizado pela salmoura dos tanques de ressaturação. Este sal tem dois caminhos: um para o ciclone da plataforma de sal e o outro se subdivide alimentando os dois tanques de ressaturação. O sal separado no ciclone é recolhido na plataforma de sal onde é transportado para a Braskem - Bahia.

A figura 34 apresenta um esquema geral do processo de Cloro Soda.



Figura 34- Esquema geral do processo de Cloro Soda.



Fonte: (Autor, 2011).

A tabela 20 apresenta o fluxo operacional versus a principal geração de resíduos sólidos dos processos de produção de Cloro Soda.

Tabela 20- Fluxo operacional versus principal geração de resíduos sólidos da produção de Cloro Soda.

Entrada	Processo	Saída
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energia Elétrica</li> <li>• Nitrogênio</li> <li>• Eteno</li> <li>• Efluente</li> <li>• Vapor</li> <li>• Água</li> <li>• Produtos químicos</li> <li>• Gás natural</li> </ul>	Produção de Cloro Soda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resíduos sólidos decorrente de manutenção</li> <li>• Resíduos Sólidos (varrição de ruas)</li> <li>• Resíduos de lama de amianto</li> <li>• HCS</li> <li>• Lodo da bacia de efluente</li> <li>• Resíduo de serviço de saúde</li> </ul>

Fonte: (Autor, 2011).

### 3.2 Levantamento de Dados

A metodologia aplicada na elaboração deste trabalho compreendeu a revisão da literatura, e o levantamento de dados da extinta Cinal em relação à gestão de tratamento de resíduos sólidos industriais.

O estudo de caso desenvolvido baseia-se na eliminação da disposição de resíduos industriais perigosos (classe I) em valas, para serem tratados em unidades de incineração e unidades de co-processamento.

As informações quanto ao inventário dos resíduos industriais perigosos classe I gerados na Braskem PVC, Braskem CS em Alagoas e na extinta Cinal, se deu através de levantamento de dados dos resíduos dessas respectivas empresas presentes no contexto do trabalho, através de um banco de dados Access, onde é registrada a entrada de todos os resíduos dispostos no aterro industrial.

O levantamento dos custos necessários para o tratamento e/ou disposição por co-processamento, incineração e disposição em aterro classe I, se deu através de pesquisas, consultas e visitas técnicas junto a empresas especializadas neste ramo de atividade, no período de julho de 2010, utilizando metodologia para avaliação econômica.

Neste trabalho foram utilizados os seguintes níveis de atuação da prevenção da poluição:

- (1) Redução na fonte;
- (2) Reciclagem fora da empresa;
- (3) Tratamento dos resíduos de modo a torná-los menos perigosos;

#### (4) Disposição final segura.

Visando atingir os objetivos, inicialmente foram analisadas a realidade dos resíduos industriais da Braskem PVC e CS em Alagoas, e da extinta Cinal, apresentando dados quanto à geração e destinação final, as formas de tratamento e os custos operacionais.

Em continuidade aos objetivos propostos, será apresentada claramente a situação atual, comparando com as novas tecnologias a serem empregadas para o tratamento dos resíduos sólidos classe I, de forma mais segura e ambientalmente correta.

### **3.3 Avaliação Econômica**

Para a avaliação econômica do estudo de caso utilizou-se os custos atuais para dispor resíduos em valos, com os custos dos novos tratamentos a serem aplicados, que são a incineração de resíduos perigosos (classe I) e o coprocessamento através da blendagem destes resíduos, tomando como base a quantidade descrita no inventário dos resíduos industriais perigosos classe I gerados na Braskem PVC, Braskem Cloro Soda (CS) em Alagoas e na extinta Cinal, no período de 2004 a 2009.

Para o levantamento das tecnologias disponíveis no mercado pode-se apontar várias opções viáveis, no entanto, para este trabalho foram considerados os seguintes aspectos para a definição das tecnologias:

- ✓ A identificação das tecnologias que melhor se apliquem às necessidades dos resíduos listados no inventário;
- ✓ A legislação em vigor;
- ✓ A composição de custo para a disposição de resíduos em valos inclui também o monitoramento operacional dos valos, no que se refere à coleta e análises de amostras do chorume e das águas subterrâneas.

Para a Braskem PVC o trabalho avalia o custo de produção de uma tonelada de PVC produzido, e para a Braskem CS o trabalho avalia o custo de produção de uma tonelada de Cloro Gás, que equivale ao custo de produção da SODA+CLORO+HIDROGÊNIO decorrente do processo de eletrólise (ECU) em relação à nova destinação dos resíduos perigosos (classe I).

Nesta avaliação econômica a quantidade produzida anualmente de PVC (ano base 2009) e a quantidade de ECU (ano base 2009) é referenciada.

Através de consulta realizada no ano de 2010, a empresa Cetrel Lumina, localizada em Camaçari-BA, informou o preço médio para o tratamento dos resíduos sólidos industriais perigosos (classe I), através da tecnologia de incineração e de co-processamento, tomando como base os valores do ano de 2009, conforme apresentado na tabela 21:

Tabela 21- Preço para tratamento de resíduos sólidos industriais perigosos (classe I).

<b>Empresa</b>	<b>Tipo de tecnologia</b>	<b>Preço tratamento</b>
Cetrel	Incineração	R\$ 2.060/tonelada
Cetrel	Co-processamento	R\$ 560/tonelada

Fonte: (Autor, 2010).

Para este trabalho não foi realizada nenhuma outra consulta de preço a empresas que atuam com as tecnologias de incineração e co-processamento, pois a empresa Cetrel Lumina pertence ao grupo Odebrecht, na qual pertence à Braskem, onde o conceito é trabalhar com a empresa do mesmo grupo.

Como base no ano de 2009, o preço médio para a disposição de resíduos sólidos perigosos (classe I) nos valos da extinta Cinal foi de R\$ 200,00/m<sup>3</sup>.

A tabela 18 apresenta as premissas para.

A análise do impacto no custo da produção de PVC (R\$/tonelada) com a adoção das novas tecnologias de incineração e co-processamento para os resíduos sólidos industriais da Braskem PVC/AL e da extinta, com base no período de 2004 a 2009 para a produção é:

$$ACP_{PVC} = (QmRGI \times PmTi + QmRGC \times PmC) - (QmRGDV \times PmDV) / PaPVC \quad ..(1)$$

Onde:

ACP<sub>PVC</sub> = Aumento de custo produção PVC (R\$/tonelada);

QmRGI= Quantidade média de resíduo gerada no período de 2004 a 2009 destinadas para o tratamento, através da tecnologia de incineração pela Braskem PVC/AL em toneladas;

PmTI= Preço médio em R\$ - ano base 2009, destinadas para tratamento de resíduos sólidos pela tecnologia de incineração de uma respectiva empresa;

QmRGC= Quantidade média de resíduo gerada no período de 2004 a 2009 destinadas para o tratamento, através da tecnologia de co-processamento pela Braskem PVC/AL em toneladas;

PmC= Preço médio em R\$ - ano base 2009, destinadas para tratamento de resíduos sólidos pela tecnologia de co-processamento de uma respectiva empresa;

QmRGDV= Quantidade média de resíduo gerada no período de 2004 a 2009 pela Braskem PVC/AL em m<sup>3</sup>, dispostos no valo classe I da extinta Cinal;

PmDV= Preço médio em R\$ - ano base 2009, para disposição de resíduos sólidos em valos pela Braskem PVC/AL;

PaPVC= Produção anual de PVC em toneladas – ano base 2009.

A análise do impacto no custo da produção de ECU (R\$/tonelada) com a adoção das novas tecnologias de incineração e co-processamento para os resíduos sólidos industriais da Braskem CS/AL, com base no período de 2004 a 2009 para a produção é:

$$ACP\text{ ECU} = (QmRG_I \times PmT_I + QmRG_C \times PmC) - (QmRG_{DV} \times PmDV) / PaECU \dots(2)$$

Onde:

ACP ECU = Aumento de custo produção ECU (R\$/tonelada);

QmRG<sub>I</sub>= Quantidade média de resíduo gerada no período de 2004 a 2009 destinadas para o tratamento, através da tecnologia de incineração pela Braskem CS/AL em toneladas;

PmT<sub>I</sub>= Preço médio em R\$ - ano base 2009, destinadas para tratamento de resíduos sólidos pela tecnologia de incineração de uma respectiva empresa;

QmRG<sub>C</sub>= Quantidade média de resíduo gerada no período de 2004 a 2009 destinadas para o tratamento, através da tecnologia de co-processamento pela Braskem CS/AL em toneladas;

Pm<sub>C</sub>= Preço médio em R\$ - ano base 2009, destinadas para tratamento de resíduos sólidos pela tecnologia de co-processamento de uma respectiva empresa;

$QmRGD_v$ = Quantidade média de resíduo gerada no período de 2004 a 2009 pela Braskem CS/AL em  $m^3$ , dispostos no valo classe I da extinta Cinal;

$PmD_v$ = Preço médio em R\$ - ano base 2009, para disposição de resíduos sólidos em valos pela Braskem CS/AL;

$PaECU$ = Produção anual de ECU em toneladas – ano base 2009.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em se tratando de gerenciamento ambiental, hoje é atendida por dois movimentos muito fortes: o primeiro é o "Programa Atuação Responsável", nascido na indústria química canadense e que é quase uma resposta da indústria química para a sociedade, onde se pode afirmar que dispõe de princípios éticos para proteção ambiental, transporte de produtos químicos e segurança industrial; o segundo movimento é representado pela ISO 14001, que é uma norma internacional que define o que deve ser feito para estabelecer um Sistema de Gestão Ambiental efetivo, que tem como principal objetivo o equilíbrio entre a manutenção da rentabilidade e a redução do impacto ambiental.

No período de 2004 a 2009 foi verificado a existência de uma rotatividade em torno de 30% dos parceiros que prestam serviços de manutenção a Braskem PVC/AL e Braskem CS/AL, diante deste fato dificulta bastante a retenção do conhecimento e sua aplicação prática em relação a gestão de resíduos sólidos.

Desta forma, deve ser realizada uma reciclagem constante dos envolvidos na atividade de disposição de resíduos de uma forma mais adequada, através de um programa de educação ambiental, visando o descarte seletivo dos resíduos para integrantes e parceiros, mesmo sabendo que existe um plano gestor de resíduos sólidos na Braskem PVC/AL e Braskem CS/AL.

Este programa deve ser realizado através de palestras, placas indicativas com uma listagem simplificada dos resíduos gerados.

No passado foi criada uma cartilha de gestão de resíduos, denominada "Resíduo Também Tem Lugar Certo", conforme anexo 1, no ano de 2009 foi implementada esta cartilha e foram capacitadas as pessoas que trabalhavam na Braskem PVC/AL e Braskem CS/AL (parceiros e integrantes), esta cartilha deverá ser repassada novamente a todos os parceiros e integrantes para reciclagem, este é um dos itens mais importante, pois segregar corretamente define adequadamente a classe de resíduo gerado, outro ponto de relevância é a redução de resíduos na fonte.

#### 4.1 Resíduos Recebidos no Aterro Industrial da Extinta Cinal no Período de 1989 a 2009.

A título de ilustração no período de 1989 a 2009 foram dispostos 161.757 m<sup>3</sup> em volume de resíduos classe I, 61.709 m<sup>3</sup> em volume de resíduos classe II A e 10.282 m<sup>3</sup> em volume de Resíduos de Serviço de Saúde.

A tabela 22 mostra a distribuição total de resíduos sólidos classe I, II A e Resíduos de Serviço de Saúde dispostos no aterro industrial da extinta Cinal, com seus respectivos volumes nominal (volume de projeto), o volume disposto (volume real), o status dos valos e o volume de acréscimo (que refere-se ao crescimento vertical do respectivo valo).

Tabela 22- Distribuição total de resíduos sólidos classe I, II A e resíduos de serviço de saúde dispostos no aterro industrial da extinta Cinal.

Valo	Classe	Volume Projeto (m <sup>3</sup> )	Acréscimo de Volume (m <sup>3</sup> )	Volume Disposto (m <sup>3</sup> )	Status
VTD 01	RSS	800	0	1.755	Encerrado e lacrado
VTD 02	Classe II A	800	0	2.084	Encerrado e lacrado
VTD 03	Classe I	13.500	11.000	28.084	Encerrado e lacrado
VTD 04	Classe II A (Lama de Salmoura)	2.400	0	8.302	Encerrado e lacrado
VTD 05	Classe I	5.400	8.000	23.000	Encerrado e lacrado
VTD 06	RSS	3.000	5.550	8.527	Encerrado e lacrado
VTD 07	Classe II A	3.000	0	6.308	Encerrado e lacrado
VTD 08	Classe I	8.000	0	19.169	Encerrado e lacrado
VTD 09	Classe II A	10.000	0	17.499	Encerrado e lacrado
VTD 10	Classe I	45.000	0	72.799	Encerrado
VTD 11	Classe II A	30.000	0	27516*	Em operação
VTD 12	Classe I	30.000	0	18705*	Em operação
VTD 13	Classe IIA	25.000	0	0	Em construção

(\*) Até dez/2009

Fonte: (Autor, 2011).



Neste levantamento realizado estão todos os resíduos dispostos no aterro industrial, porém o objeto de estudo será os resíduos perigosos (classe I), dispostos pela Braskem PVC, Braskem Cloro Soda, a pela extinta Cinal.

#### **4.2 Inventário dos Resíduos Sólidos Classe I recebidos no Aterro da extinta Cinal (Período 2004 a 2009)**

Os resíduos gerados na extinta Cinal, considerados no levantamento do inventário, foram os seguintes:

1. Sólidos da limpeza do separador de areia e óleo da UTE: Este material apresenta-se como resíduo perigoso classe I, por conter substâncias de origem orgânicas, que deve ser enviado para incineração. A composição em média deste material é de 81% de PVC (base seca). A origem deste sólido decorre da fuga de sólidos de duas bacias de decantação da área de PVC, sendo que uma opera e a outra fica de reserva. Este PVC é decorrente das bacias de decantação que são retirados e vendidos como resina úmida. Atualmente está sendo minimizada a fuga destes sólidos com o aumento na periodicidade da limpeza destas bacias de decantação e a instalação de um raspador de superfície.
2. Sólidos da limpeza do leito de secagem da UTE: Lodo gerado do processo de degradação biológica da estação de tratamento de efluentes da extinta Cinal. O mesmo apresenta uma fração de material inorgânico (pó de PVC) que se encontra agregado ao lodo, devendo o mesmo ser descartado, de forma a evitar a flotação deste lodo nos decantadores. Resolvendo o problema das bacias de decantação da área da PVC, conforme relatado acima, no sólido da limpeza do separador de areia e óleo da UTE, esta geração será minimizada. Este sólido apresente 44% de PVC (base seca). Este material deve ser incinerado por apresentar substâncias de origem orgânica.
3. Manutenção e limpeza da bacia de emergência da UTE: Este material está caracterizado como resíduo perigoso classe I, por apresentar substâncias de origem orgânica e presença de óleos e graxas. Foi gerado decorrente da limpeza, que foi efetuada após 17 anos de operação. Este resíduo deve ser incinerado.
4. Manutenção e limpeza da bacia de homogeneização da UTE: Este material está caracterizado como resíduo perigoso classe I, por apresentar substâncias de

origem orgânica. Sua geração decorre da limpeza que foi efetuada após 10 anos de operação. Este resíduo deve ser incinerado.

5. Sólidos contaminados com óleos e graxas do separador de areia e óleo da bacia de emergência: Este material tem características energéticas em função da presença de óleos e graxas. Desta forma o seu destino deve ser a unidade de blendagem para ser enviado para co-processamento em cimenteira. A utilização desta energia economiza recursos não-renováveis (combustíveis fósseis e recursos minerais), reduz as emissões de gases responsáveis pelo Efeito Estufa, não gera passivos ambientais e é útil à sociedade, pois realiza um serviço de destruição de resíduos de maneira segura e definitiva, associada com a recuperação de energia e material.
6. Isolamento, latas de tintas vazias, estopas, pincel: Devido à presença de solventes, para este item deve ser avaliado o isolamento caso a caso, mas por questão de segurança estes resíduos devem ser incinerados.
7. Materiais diversos contaminados com óleos e graxas: Idem o item 5 do inventário de resíduos classe I gerados na extinta Cinal (período 2004 a 2009).
8. Materiais contaminados com organoclorados: A geração deste resíduo será enviada para incineração.
9. Resinas de troca iônica (catiônicas, aniônicas) e carvão ativado: A geração deste resíduo será enviada para incineração, devido a sua característica de inflamabilidade.

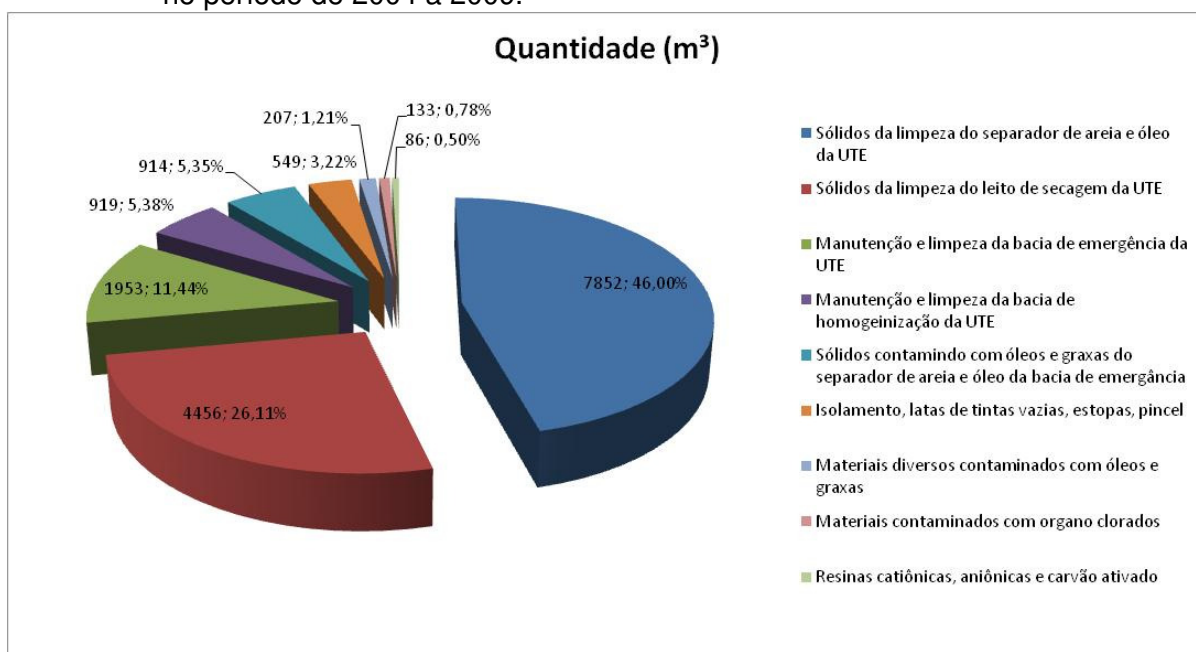
Na tabela 23 é apresentada a geração dos resíduos sólidos da extinta Cinal por tipo e quantidade em volume (m<sup>3</sup>) e na figura 35, são apresentados os dados da geração total dos resíduos sólidos da extinta Cinal por tipo e quantidade em volume (m<sup>3</sup>):

Tabela 23 - Geração total dos resíduos sólidos da Extinta Cinal por tipo e quantidade (m<sup>3</sup>) no período de 2004 a 2009.

Tipos de Resíduos	Quantidade (m <sup>3</sup> )	%
Sólidos da limpeza do separador de areia e óleo da UTE	7.852	46,00%
Sólidos da limpeza do leito de secagem da UTE	4.456	26,11%
Manutenção e limpeza da bacia de emergência da UTE	1.953	11,44%
Manutenção e limpeza da bacia de homogeneização da UTE	919	5,38%
Sólidos contaminado com óleos e graxas do separador de areia e óleo da bacia de emergência	914	5,35%
Isolamento, latas de tintas vazias, estopas, pincel	549	3,22%
Materiais diversos contaminados com óleos e graxas	207	1,21%
Materiais contaminados com organoclorados	133	0,78%
Resinas catiônicas, aniônicas e carvão ativado	86	0,50%
<b>Total</b>	<b>17.069</b>	<b>100,0%</b>

Fonte: (Autor, 2011).

Figura 35 - Geração total dos resíduos sólidos da Extinta Cinal por tipo e quantidade (m<sup>3</sup>) no período de 2004 a 2009.



Fonte: (Autor, 2011).

Os resíduos gerados na Braskem PVC/AL, considerados no levantamento do inventário, foram os seguintes:

1. Materiais diversos contaminados com óleos e graxas: Idem o item 5 do inventário de resíduos classe I gerados na extinta Cinal no (período 2004 a 2009).
2. Lama de catalizador: Este resíduo deverá ser encaminhado para a incineração, devido à presença de metais pesados.
3. Materiais variados: A geração destes resíduos constitui uma grande miscelânea, e apresenta grandes oportunidades. Em detalhamento têm-se as possíveis oportunidades:

- ✓ Pallets contaminado com ácido clorídrico: Deve ser incinerado, devido à presença de produto perigoso.
  - ✓ Bauxita contaminada com óleo: Este material tem características energéticas em função da presença de óleos e graxas, desta forma o seu destino deve ser a unidade de blendagem para ser enviado para co-processamento em cimenteira.
  - ✓ Metralha de canaleta com potencial contaminante: Esta metralha é resíduo de construção civil, que pode estar contaminado com alguma substância com características que podem classificá-los com resíduo perigoso. Este item deve ser avaliado caso a caso, pois se a área não tem potencial de contaminação pode ser destinado como resíduo não perigoso, neste caso como houve uma falha na descrição do resíduo gerado, como base conservadora e ambientalmente correta, adotou este resíduo como resíduo perigoso.
  - ✓ Recheio de porcelana e tijolo antiácido: Material deve ser co-processado.
  - ✓ Resíduo de polímero contaminado com metais ferrosos, resíduo de soda cáustica proveniente de limpeza da esfera de MVC: Material deve ser incinerado.
  - ✓ Neutralização de ácido clorídrico com óxido de cálcio: A reação destas substâncias gera um sal (cloreto de cálcio mais água) e não deveria ter sido descartado como resíduo perigoso, classe I. Deve ser disposto como resíduo não perigoso não inerte, classe II A, O não-inerte se deve à presença de algumas substâncias solúveis, que poderão impactar as águas subterrâneas, no caso de eventual infiltração.
  - ✓ Pilhas: A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências, define que as pilhas deverão ser recicladas.
  - ✓ Resina de Troca Iônica (Aniônica): Este resíduo será enviado para incineração, devido a sua característica de inflamabilidade.
4. Materiais contaminados com organoclorados: Este resíduo será enviado para incineração.
  5. Resíduos de serviço de saúde: Este resíduo tem como origem o setor médico e deve ser enviado para incineração ou autoclavagem.

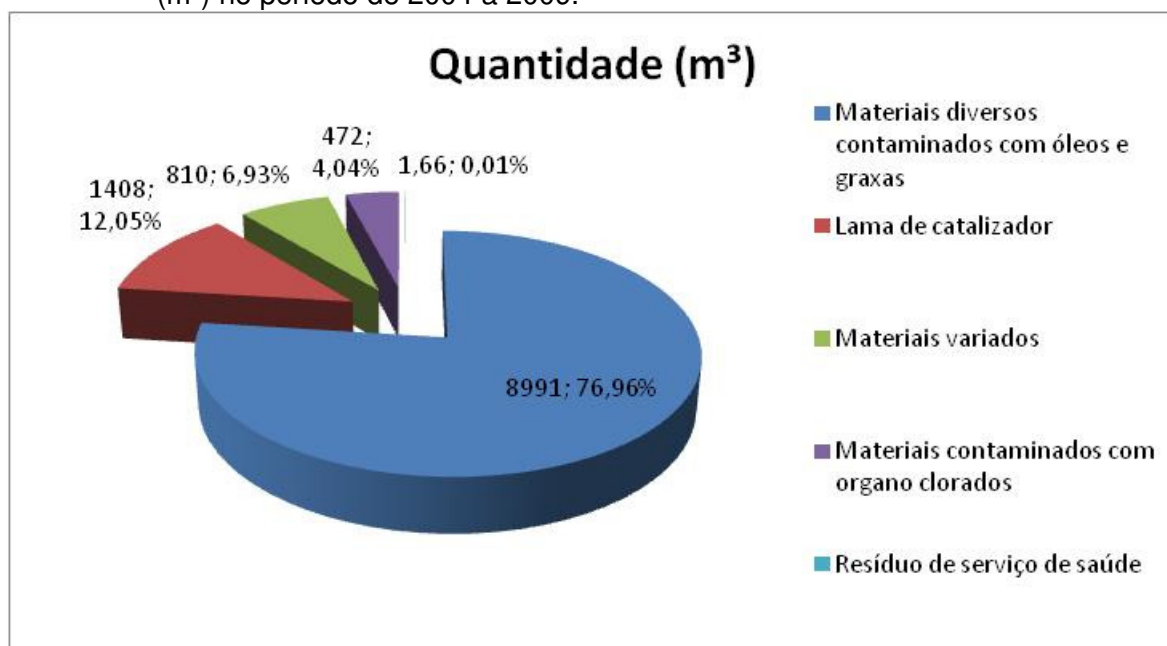
Na tabela 24 é apresentada a geração dos resíduos sólidos da Braskem PVC/AL por tipo e quantidade em volume (m<sup>3</sup>) e a figura 36, são apresentados os dados da geração total dos resíduos sólidos da Braskem PVC/AL por tipo e quantidade em volume (m<sup>3</sup>):

Tabela 24 - Geração total dos resíduos sólidos da Braskem PVC/AL por tipo e quantidade (m<sup>3</sup>) no período de 2004 a 2009.

Tipos de Resíduos	Quantidade (m <sup>3</sup> )	%
Materiais diversos contaminados com óleos e graxas	8.991	76,96%
Lama de catalizador	1.408	12,05%
Materiais variados	810	6,93%
Materiais contaminados com organo clorados	472	4,04%
Resíduo de serviço de saúde	1,66	0,01%
Total	11.683	100,0%

Fonte: (Autor, 2011).

Figura 36 - Geração total dos resíduos sólidos da Braskem PVC/AL por tipo e quantidade (m<sup>3</sup>) no período de 2004 a 2009.



Fonte: (Autor, 2011).

Os resíduos gerados na Braskem CS/AL, considerados no levantamento do inventário, foram os seguintes:

1. Materiais variados- Idem o item 3 do inventário de resíduos classe I gerados na Braskem PVC/AL no (período 2004 a 2009). Em detalhamento teremos as possíveis oportunidades:
  - ✓ Sucata de fibra: Deve ser incinerado, devido à presença de solventes.

- ✓ Sacos de carbonato de sódio, sulfito de sódio: Os sacos de carbonato de sódio não são resíduos perigosos, é um resíduo não perigoso classe II A. Estes sacos podem ser higienizados com água a alta pressão e reciclados. O sulfito de sódio não é resíduo perigoso, é um resíduo não perigoso classe II A. Estes sacos podem ser higienizados com água a alta pressão e reciclados.
- ✓ Latas de tintas vazias e equipamentos de proteção individual (EPI) contaminados com solvente: Devem ser incinerados, devido à presença de solvente.
- ✓ Recipientes de produto químico vazios de noxol: Deve ser incinerado, devido à presença de solvente.
- ✓ Isolamento contaminado com resíduos de tinta: Devido à presença de solventes, para este item deve ser avaliado o isolamento caso a caso, mas por questão de segurança estes resíduos devem ser incinerados.
- ✓ Areia de jateamento e resíduo de tinta: Deve ser incinerado, devido à presença de solventes.
- ✓ Pó resultante de Limpeza de Filtro (Etenoduto): Deve ser incinerado, devido à presença de solventes.
- ✓ Soda cáustica, bentonita, óleos lubrificantes e cimento: Deve ser incinerado, devido à presença de substâncias químicas, mesmo tendo óleo lubrificante. O correto é não dispor o óleo juntamente com os demais resíduos, pois o mesmo poderia ser co-processado em cimenteiras.
- ✓ Cascalho e carbonato de cálcio: O cascalho é um resíduo que, em princípio não contém residual de óleo, constituindo-se em resíduo classe IIA, ou seja, não perigoso-não inerte. O não-inerte se deve à presença de algumas substâncias solúveis, que poderão impactar as águas subterrâneas, no caso de eventual infiltração, principalmente pela existência de teores residuais de substâncias usadas na preparação de fluidos de perfuração.
- ✓ Cascalho contaminado com cloretos: Deve ser disposto como resíduo não perigoso classe II A, devido à solubilidade em água.
- ✓ Cloreto de sódio- Deve ser disposto como resíduo não perigoso não inerte, classe II A, O não-inerte se deve à presença de algumas substâncias solúveis, que poderão impactar as águas subterrâneas, no caso de eventual infiltração.

- ✓ Cascalho contaminado com óxido de ferro: A solução encontrada para este resíduo é a mesma do cascalho contaminado com carbonato de cálcio, do item 1 do inventário de resíduos classe I gerados na Braskem CS/AL no (período 2004 a 2009).
- 2. Materiais diversos contaminados com óleos e graxas: Idem o item 5 do inventário de resíduos classe I gerados na extinta Cinal no (período 2004 a 2009).
- 3. Lama de amianto: Este resíduo será enviado para a incineração, devido a sua característica de toxicidade.
- 4. Materiais contaminados com lama de salmoura: Estes resíduos foram dispostos como classe I, em função do teor de sais presentes e por questão de segurança e definição da área técnica da unidade de resíduos sólidos industriais, em função dos valos classe II A não serem revestido com manta de PEAD, porém como boas práticas os valos para classe II A construídos atualmente são com manta de PEAD. Este tipo de resíduo é classe II A, não perigoso não inerte; o não-inerte se deve à presença de algumas substâncias solúveis, que poderão impactar as águas subterrâneas, no caso de eventual infiltração, principalmente pela existência de teores residuais de substâncias usadas na preparação de fluidos de perfuração.
- 5. Materiais contaminados com organo clorados: A geração deste resíduo será enviada para incineração.
- 6. Resíduos de serviço de saúde: Este resíduo tem como origem o setor médico e deve ser enviado para incineração ou autoclavagem.

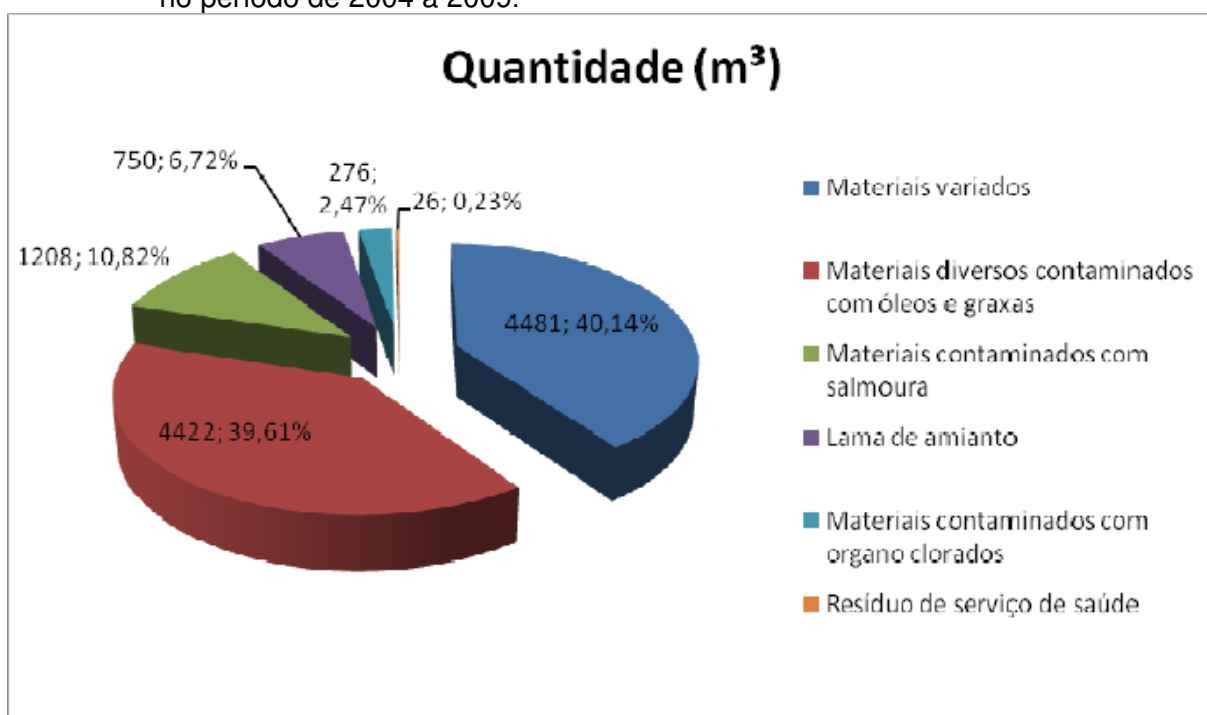
Na tabela 25 é apresentada a geração dos resíduos sólidos da Braskem CS/AL por tipo e quantidade em volume (m<sup>3</sup>) e a figura 37, apresenta os dados da geração total dos resíduos sólidos da Braskem CS/AL por tipo e quantidade em volume (m<sup>3</sup>):

Tabela 25- Geração total dos resíduos sólidos da Braskem CS/AL por tipo e quantidade (m<sup>3</sup>) no período de 2004 a 2009.

Tipos de Resíduos	Quantidade (m <sup>3</sup> )	%
Materiais variados	4.481	40,14%
Materiais diversos contaminados com óleos e graxas	4.422	39,61%
Materiais contaminados com salmoura	1.208	10,82%
Lama de amianto	750	6,72%
Materiais contaminados com organoclorados	276	2,47%
Resíduo de serviço de saúde	26	0,23%
<b>Total</b>	<b>11.163</b>	<b>100,0%</b>

Fonte: (Autor, 2011).

Figura 37- Geração total dos resíduos sólidos da Braskem CS/AL por tipo e quantidade (m<sup>3</sup>) no período de 2004 a 2009.



Fonte: (Autor, 2011).

No período de 2004 a 2009, observa-se que o maior gerador em relação à massa é a extinta Cinal, com 58%, isto se deve ao material sólido que é retirado nos separadores de areia e óleo e nos leitos de secagem da unidade de tratamento de efluentes, acompanhado em seguida pela Braskem PVC/AL com 24% e da Braskem CS/AL com 18%. Analisando a geração da extinta Cinal, da Braskem PVC/AL e Braskem CS/AL por um período de 6 anos é observado que a extinta Cinal gerou uma quantidade de 15.914 T, equivalente a uma média de 2.652 T/ano, a Braskem PVC/AL gerou uma quantidade de 6.736 T, equivalente a 1.123 T/ano e para a



Braskem CS/AL houve uma geração de 5.013 T, equivalente a uma geração média de 835 T/ano.

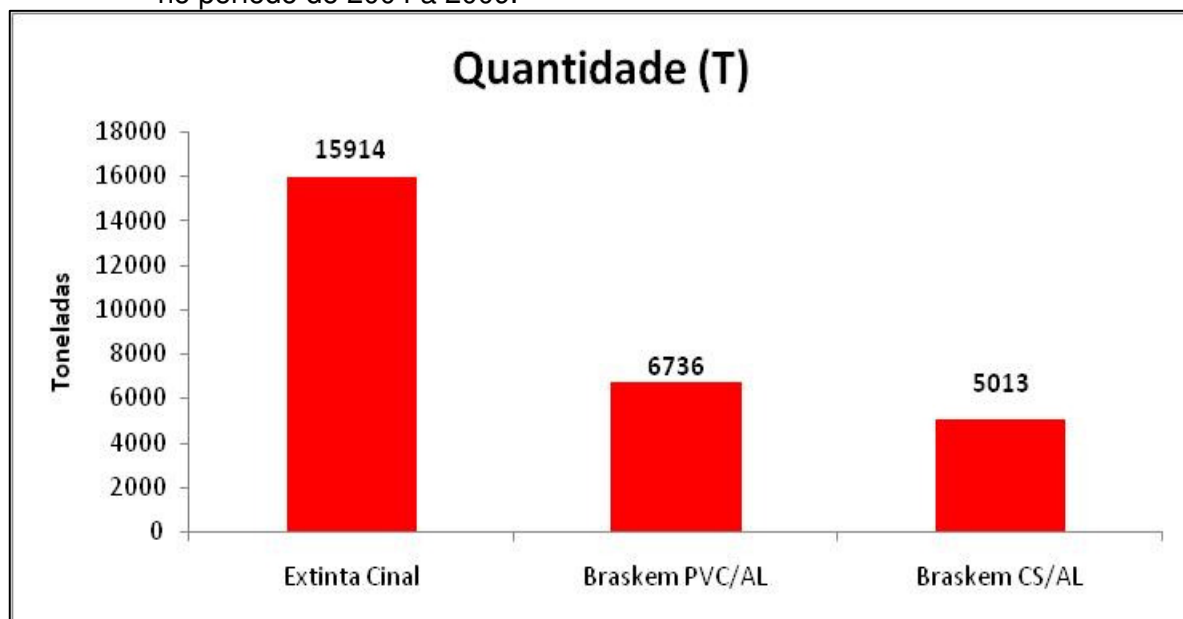
A tabela 26 apresenta a geração dos resíduos sólidos industriais por empresa, tendo como base os valores em massa toneladas (T) e a figura 38 apresenta os dados da geração dos resíduos sólidos industriais por empresa, tendo como base os valores em massa (toneladas-T).

Tabela 26- Geração total dos resíduos sólidos industriais por empresa- base em massa (T) no período de 2004 a 2009.

Empresa	Quantidade (T)	Quantidade (m³)	% Referência em Toneladas
Extinta Cinal	15.914	17.069	58%
Braskem PVC/AL	6.736	11.683	24%
Braskem CS/AL	5.013	11.163	18%
Total	27.663	39.915	100%

Fonte: (Autor, 2011).

Figura 38- Geração total dos resíduos sólidos industriais por empresa- base em massa (T) no período de 2004 a 2009.



Fonte: (Autor, 2011).

No período de 2004 a 2009, observa-se que o maior gerador em relação ao volume é a extinta Cinal, com 43%, isto se deve ao material sólido que é retirado nos separadores de areia e óleo e nos leitos de secagem da unidade de tratamento de efluentes, acompanhando em seguida a Braskem PVC/AL com 29% e a Braskem CS/AL com 28%. Analisando a geração da extinta Cinal, da Braskem PVC/AL e

Braskem CS/AL por um período de 6 anos observa-se que a extinta Cinal gerou uma quantidade de 17.069 m<sup>3</sup>, equivalente a uma média de 2.844 m<sup>3</sup>/ano, a Braskem PVC/AL gerou uma quantidade de 11.683 m<sup>3</sup>, equivalente a 1.947 m<sup>3</sup>/ano e para a Braskem CS/AL houve uma geração de 11.163 m<sup>3</sup>, equivalente a uma geração média de 1.860 m<sup>3</sup>/ano.

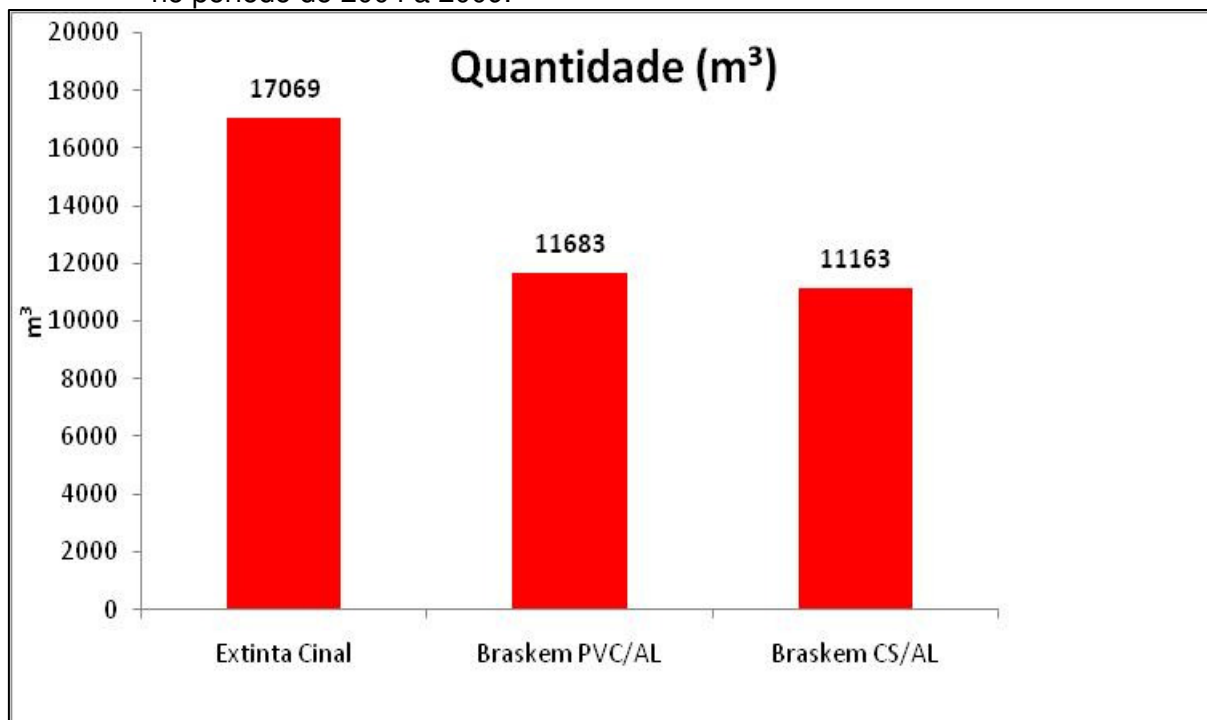
A tabela 27 apresenta a geração dos resíduos sólidos industriais por empresa, tendo como base os valores em volume (m<sup>3</sup>) e a figura 39 apresenta os dados da geração dos resíduos sólidos industriais por empresa, tendo como base os valores em volume (m<sup>3</sup>).

Tabela 27- Geração total dos resíduos sólidos industriais por empresa- base em volume (m<sup>3</sup>) no período de 2004 a 2009.

Empresa	Quantidade (T)	Quantidade (m <sup>3</sup> )	% Referência em m <sup>3</sup>
Extinta Cinal	15.914	17.069	43%
Braskem PVC/AL	6.736	11.683	29%
Braskem CS/AL	5.013	11.163	28%
Total	27.663	39.915	100%

Fonte: (Autor, 2011).

Figura 39- Geração total dos resíduos sólidos industriais por empresa- base em volume (m<sup>3</sup>) no período de 2004 a 2009.



Fonte: (Autor, 2011).

### **4.3 Avaliação Econômica dos Custos para as Plantas da Braskem PVC/AL e Braskem CS/AL pela Adoção de Novas Tecnologias de Tratamento de Resíduos Sólidos Classe I pelo Processo de Incineração e Co-processamento**

A preocupação das indústrias atuais com o desenvolvimento sustentável, mesmo atuando com segurança e seguindo rígidos padrões em atividades desenvolvidas, e a busca de novos métodos, que entendem ser mais seguros para o tratamento e disposição final dos resíduos sólidos industriais.

É proposto neste projeto o tratamento dos resíduos sólidos industriais perigosos (classe I) pelos métodos de incineração e co-processamento, para eliminar a disposição em valos classe I.

Para o estudo de caso a quantidade gerada de resíduo de serviço de saúde, foi considerada no custo pela tecnologia de incineração.

A Braskem PVC/AL e a Braskem CS/AL possuem em cada uma de suas unidades um setor médico, que gera resíduos de serviço de saúde. Este resíduo desde o ano de 2010 é tratado pela tecnologia de incineração por uma empresa de incineração chamada Serquip, localizada na cidade de Maceió, em Alagoas.

A seguir serão apresentados dois cenários cujas análises econômicas tiveram como base o preço médio (base ano 2009) dos resíduos a serem destinados às tecnologias de incineração e de co-processamento praticados pela empresa Cetrel Lumina, localizada em Camaçari-BA, em comparação com a disposição destes resíduos em valos da extinta Cinal (atualmente Braskem PVC/AL), localizada no município de Marechal Deodoro:

#### **Cenário 1: Análise econômica da Braskem PVC/AL associada a extinta Cinal**

Para a análise do impacto no custo da produção de PVC (R\$/tonelada) com a adoção das novas tecnologias de incineração e co-processamento para os resíduos sólidos industriais da Braskem PVC/AL e da extinta, com base no período de 2004 a 2009, foi utilizada a tabela 28 como premissas.

Tabela 28- Premissas para análise do impacto do custo na produção de PVC.

Premissa	Detalhe da Premissa
Preço médio (ano base 2009) para o tratamento de resíduos sólidos a ser destinada a tecnologia de incineração da empresa Cetrel Lumina	R\$ 2.060/tonelada
Preço médio (ano base 2009) para tratamento de resíduos sólidos a ser destinada a tecnologia de co-processamento da empresa Cetrel Lumina	R\$ 560/tonelada
Preço médio (ano base 2009) para disposição de resíduos sólidos em valos pela Braskem PVC/AL	R\$ 200/m <sup>3</sup>
Quantidade média de resíduo gerado no período de 2004 a 2009, a serem destinados ao tratamento, através da tecnologia de incineração pela extinta Cinal	2.529,30 toneladas
Quantidade média de resíduo gerado no período de 2004 a 2009, a serem destinados ao tratamento, através da tecnologia de co-processamento pela extinta Cinal	123,00 toneladas
Quantidade média de resíduo gerado no período de 2004 a 2009, a serem destinados ao tratamento através da tecnologia de incineração pela Braskem PVC/AL	326,68 toneladas
Quantidade média de resíduo gerado no período de 2004 a 2009, a serem destinados ao tratamento, através da tecnologia de co-processamento pela Braskem PVC/AL	795,98 toneladas
Quantidade média de resíduo gerada no período de 2004 a 2009 pela Braskem PVC/AL, enviado ao valo classe I da extinta Cinal	1.947,17 m <sup>3</sup>
Quantidade média de resíduo gerado no período de 2004 a 2009 pela extinta Cinal, enviado ao valo classe I da extinta Cinal	2.844,83 m <sup>3</sup>
Produção anual de PVC - ano base 2009	221.135 toneladas

Fonte: (Autor, 2011).

Para a Braskem PVC/AL o aumento de custo da PVC com a adoção das novas tecnologias de incineração e co-processamento, com base no preço da empresa Cetrel Lumina é:

$$\Rightarrow \text{Aumento do custo de produção do PVC (R\$/tonelada)} = [(326,68 \times 2.060,00) + (795,98 \times 560,00) - (1.947,17 \times 200) / (221.135)] = \text{R\$ 3,30}$$

Para a extinta Cinal o aumento de custo da PVC com a adoção das novas tecnologias de incineração e co-processamento, com base no preço da empresa Cetrel Lumina é:

$$\Rightarrow \text{Aumento de custo de produção do PVC (R\$/tonelada)} = [(2.529,30 \times 2.060,00) + (123,00 \times 560,00) - (2.844,83 \times 200) / (221.135)] = \text{R\$ } 21,30$$

Se comparar o custo de dispor resíduos em valo classe I, com as tecnologias de incineração e de co-processamento apresentadas pela empresa Cetrel Lumina para a Braskem PVC/AL, tomando como base a produção anual de PVC da Braskem PVC/AL, o produto PVC terá um aumento de R\$ 3,30, respectivamente, no custo de produção de 1 ton, valor este referente à diferença do custo de dispor resíduos em valos com o custo das novas tecnologias.

Comparando o custo de dispor resíduos em valo classe I, com as tecnologias de incineração e de co-processamento apresentada pela empresa Cetrel Lumina para a extinta Cinal, tomando como base a produção anual de PVC da Braskem PVC/AL, o produto PVC terá um aumento de R\$ 21,30 no custo de produção de 1 ton, valor este referente à diferença do custo de dispor resíduos em valos com o custo das novas tecnologias.

Para o cálculo da Extinta Cinal utilizou a base de cálculo da Braskem PVC/AL, ou seja, usou a produção anual de PVC em função da incorporação total que ocorreu em dezembro de 2010, com isso a extinta Cinal, passou a ser um ativo da Braskem PVC/AL.

Analisando as tecnologias de tratamento por incineração e co-processamento para a empresa Cetrel Lumina, o aumento de custo da Braskem PVC/AL é o somatório da extinta Cinal com a Braskem PVC, ou seja, R\$ 3,30 + R\$ 21,30, que representa R\$ 24,60 a mais no custo de produção de 1 tonelada de PVC.

O aumento do custo que a unidade da Braskem PVC/AL terá para produzir 1 tonelada de PVC será de R\$ 24,60, este valor terá impacto no resultado financeiro da empresa, porém promove a redução do passivo ambiental em relação a não disposição de resíduos perigosos em valos.

Será analisado o aumento do custo da produção de PVC (R\$/tonelada) com a adoção das novas tecnologias de incineração e co-processamento para os resíduos sólidos industriais da Braskem PVC/AL e da extinta, com base nos anos de 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 individualmente, foi utilizada a tabela 29 como premissas.

Para os dados de preço médio (base 2009) para o tratamento de resíduos sólidos a ser destinada a tecnologia de incineração da empresa Cetrel Lumina, o

preço médio (ano base 2009) para tratamento de resíduos sólidos a ser destinada a tecnologia de co-processamento da empresa Cetrel Lumina e o preço médio (ano base 2009) para disposição de resíduos sólidos em valos pela Braskem PVC/AL, utilizou-se a tabela 28.

Tabela 29- Premissas para análise do impacto do custo na produção de PVC- Anual.

Premissa	Detalhe da Premissa
Quantidade de resíduo gerado destinado ao tratamento, através da tecnologia de incineração pela extinta Cinal	Ano 2004: 652,00 toneladas Ano 2005: 2.096,00 toneladas Ano 2006: 3.371,37 toneladas Ano 2007: 2.605,80 toneladas Ano 2008: 3.441,17 toneladas Ano 2009: 3.009,46 toneladas
Quantidade de resíduo gerado destinado ao tratamento, através da tecnologia de co-processamento pela extinta Cinal	Ano 2004: 5,23 toneladas Ano 2005: 19,42 toneladas Ano 2006: 19,99 toneladas Ano 2007: 270,91 toneladas Ano 2008: 407,91 toneladas Ano 2009: 14,74 toneladas
Quantidade de resíduo gerado destinado ao tratamento através da tecnologia de incineração pela Braskem PVC/AL	Ano 2004: 453,05 toneladas Ano 2005: 258,47 toneladas Ano 2006: 380,00 toneladas Ano 2007: 362,03 toneladas Ano 2008: 251,02 toneladas Ano 2009: 255,54 toneladas
Quantidade de resíduo gerado, destinado ao tratamento, através da tecnologia de co-processamento pela Braskem PVC/AL	Ano 2004: 679,10 toneladas Ano 2005: 72,00 toneladas Ano 2006: 665,72 toneladas Ano 2007: 142,73 toneladas Ano 2008: 687,20 toneladas Ano 2009: 2.529,34 toneladas
Quantidade de resíduo gerada pela Braskem PVC/AL, enviado ao valo classe I da extinta Cinal	Ano 2004: 1.898,98 toneladas Ano 2005: 1.055,20 toneladas Ano 2006: 2.522,00 toneladas Ano 2007: 1.540,72 toneladas Ano 2008: 2.654,10 toneladas Ano 2009: 2.012,34 toneladas
Quantidade de resíduo gerado pela extinta Cinal, enviado ao valo classe I da extinta Cinal	Ano 2004: 1.354,78 toneladas Ano 2005: 2.743,79 toneladas Ano 2006: 3.424,93 toneladas Ano 2007: 2.860,49 toneladas Ano 2008: 3.744,26 toneladas Ano 2009: 2.940,75 toneladas
Produção de PVC	Ano 2004: 190.008 toneladas Ano 2005: 198.700 toneladas Ano 2006: 229.500 toneladas Ano 2007: 235.100 toneladas Ano 2008: 262.600 toneladas Ano 2009: 221.135 toneladas

Fonte: (Autor, 2011).

Para a Braskem PVC/AL e a extinta Cinal o aumento de custo da PVC com a adoção das novas tecnologias de incineração e co-processamento, com base no preço da empresa Cetrel Lumina é:

⇒ Ano 2004:

✓ **PVC/AL: Aumento do custo de produção do PVC (R\$/tonelada) =**  

$$[(453,05 \times 2.060,00) + (679,10 \times 560,00) - (1.898,98 \times 200) / (190.008)] =$$
**R\$ 4,91**

✓ **Extinta Cinal: Aumento de custo de produção do PVC (R\$/tonelada) =**  

$$[(652,00 \times 2.060,00) + (5,23 \times 560,00) - (1.354,78 \times 200) / (190.008)] =$$
**R\$ 5,66**

Custo total da PVC/AL é o somatório da extinta Cinal com a Braskem PVC, ou seja, R\$ 4,91 + R\$ 5,66, que representa R\$ 10,57 a mais no custo de produção de 1 tonelada de PVC.

⇒ Ano 2005:

✓ **PVC/AL: Aumento do custo de produção do PVC (R\$/tonelada) =**  

$$[(258,47 \times 2.060,00) + (72,00 \times 560,00) - (1.055,20 \times 200) / (198.700)] =$$
**R\$ 1,82**

✓ **Extinta Cinal: Aumento de custo de produção do PVC (R\$/tonelada) =**  

$$[(2.096,00 \times 2.060,00) + (19,42 \times 560,00) - (3.424,93 \times 200) / (198.700)] =$$
**R\$ 19,02**

Custo total da PVC/AL é o somatório da extinta Cinal com a Braskem PVC, ou seja, R\$ 1,82 + R\$ 19,02, que representa R\$ 20,84 a mais no custo de produção de 1 tonelada de PVC.

⇒ Ano 2006:

✓ **PVC/AL: Aumento do custo de produção do PVC (R\$/tonelada) =**  

$$[(380,00 \times 2.060,00) + (665,72 \times 560,00) - (2.522,00 \times 200) / (229.500)] =$$
**R\$ 2,84**

✓ **Extinta Cinal: Aumento de custo de produção do PVC (R\$/tonelada) =**  

$$[(3.371,37 \times 2.060,00) + (19,99 \times 560,00) - (3.424,93 \times 200) / (229.500)] =$$
**R\$ 27,33**

Custo total da PVC/AL é o somatório da extinta Cinal com a Braskem PVC, ou seja, R\$ 2,84 + R\$ 27,33, que representa R\$ 30,17 a mais no custo de produção de 1 tonelada de PVC.

⇒ Ano 2007:

✓ **PVC/AL: Aumento do custo de produção do PVC (R\$/tonelada) =**  

$$[(362,03 \times 2.060,00) + (142,73 \times 560,00) - (1.540,72 \times 200) / (235.100)] =$$
**R\$ 1,89**

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Extinta Cinal: Aumento de custo de produção do PVC (R\$/tonelada)} &= \\ &= [(2.605,80 \times 2.060,00) + (270,91 \times 560,00) - (2.860,49 \times 200)] / (235.100) \\ &= \text{R\$ 16,50} \end{aligned}$$

Custo total da PVC/AL é o somatório da extinta Cinal com a Braskem PVC, ou seja, R\$ 1,89 + R\$ 16,50, que representa R\$ 18,39 a mais no custo de produção de 1 tonelada de PVC.

⇒ Ano 2008:

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ PVC/AL: Aumento do custo de produção do PVC (R\$/tonelada)} &= \\ &= [(251,02 \times 2.060,00) + (687,20 \times 560,00) - (2.654,10 \times 200)] / (262.600) \\ &= \text{R\$ 1,41} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Extinta Cinal: Aumento de custo de produção do PVC (R\$/tonelada)} &= \\ &= [(3.441,17 \times 2.060,00) + (407,91 \times 560,00) - (3.744,26 \times 200)] / (262.600) \\ &= \text{R\$ 25,01} \end{aligned}$$

Custo total da PVC/AL é o somatório da extinta Cinal com a Braskem PVC, ou seja, R\$ 1,41 + R\$ 25,01, que representa R\$ 26,42 a mais no custo de produção de 1 tonelada de PVC.

⇒ Ano 2009:

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ PVC/AL: Aumento do custo de produção do PVC (R\$/tonelada)} &= \\ &= [(255,54 \times 2.060,00) + (2.529,34 \times 560,00) - (2.012,34 \times 200)] / (221.135) \\ &= \text{R\$ 6,96} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Extinta Cinal: Aumento de custo de produção do PVC (R\$/tonelada)} &= \\ &= [(3.009,46 \times 2.060,00) + (14,74 \times 560,00) - (2.940,75 \times 200)] / (221.135) \\ &= \text{R\$ 25,41} \end{aligned}$$

Custo total da PVC/AL é o somatório da extinta Cinal com a Braskem PVC, ou seja, R\$ 6,96 + R\$ 25,41, que representa R\$ 32,37 a mais no custo de produção de 1 tonelada de PVC.

Se comparado o custo de dispor resíduos em valo classe I, com as tecnologias de incineração e de co-processamento apresentada pela empresa Cetrel Lumina para a Braskem CS/AL, tomando como base a produção anual de PVC da Braskem PVC/AL, no período de 2004 a 2009, teremos os seguintes aumentos:

Para o ano de 2004 o produto PVC terá um aumento de R\$ 10,57 no custo de produção de 1 ton a maior, valor este referente à diferença do custo de dispor resíduos em valos com o custo das novas tecnologias, este valor impactará no



resultado financeiro da empresa, porém promoverá a redução do passivo ambiental em relação a não disposição de resíduos perigosos em valos.

Para o ano de 2005 o produto PVC terá um aumento de R\$ 20,84 no custo de produção de 1 ton a maior, valor este referente à diferença do custo de dispor resíduos em valos com o custo das novas tecnologias, este valor impactará no resultado financeiro da empresa, porém promoverá a redução do passivo ambiental em relação a não disposição de resíduos perigosos em valos.

Para o ano de 2006 o produto PVC terá um aumento de R\$ 30,17 no custo de produção de 1 ton a maior, valor este referente à diferença do custo de dispor resíduos em valos com o custo das novas tecnologias, este valor impactará no resultado financeiro da empresa, porém promoverá a redução do passivo ambiental em relação a não disposição de resíduos perigosos em valos.

Para o ano de 2007 o produto PVC terá um aumento de R\$ 18,39 no custo de produção de 1 ton a maior, valor este referente à diferença do custo de dispor resíduos em valos com o custo das novas tecnologias, este valor impactará no resultado financeiro da empresa, porém promoverá a redução do passivo ambiental em relação a não disposição de resíduos perigosos em valos.

Para o ano de 2008 o produto PVC terá um aumento de R\$ 26,42 no custo de produção de 1 ton a maior, valor este referente à diferença do custo de dispor resíduos em valos com o custo das novas tecnologias, este valor impactará no resultado financeiro da empresa, porém promoverá a redução do passivo ambiental em relação a não disposição de resíduos perigosos em valos.

Para o ano de 2009 o produto PVC terá um aumento de R\$ 32,37 no custo de produção de 1 ton a maior, valor este referente à diferença do custo de dispor resíduos em valos com o custo das novas tecnologias, este valor impactará no resultado financeiro da empresa, porém promoverá a redução do passivo ambiental em relação a não disposição de resíduos perigosos em valos.

## **Cenário 2: Análise econômica da Braskem CS/AL**

Para a análise do impacto no custo da produção de ECU (R\$/tonelada) com a adoção das novas tecnologias de incineração e co-processamento para os resíduos sólidos industriais da Braskem CS/AL, com base no período de 2004 a 2009, foi utilizada a tabela 30 como premissas.

Tabela 30- Premissas para análise do impacto do custo na produção de ECU.

Premissa	Detalhe da Premissa
Preço médio (ano base 2009) para tratamento de resíduos sólidos a ser destinada a tecnologia de incineração da empresa Cetrel Lumina	R\$ 2.060/tonelada
Preço médio (ano base 2009) para tratamento de resíduos sólidos a ser destinada a tecnologia de co-processamento da empresa Cetrel Lumina	R\$ 560/tonelada
Preço médio (ano base 2009) para disposição de resíduos sólidos em valos pela Braskem CS/AL	R\$ 200/m <sup>3</sup>
Quantidade média de resíduo gerado no período de 2004 a 2009, a serem destinados ao tratamento, através da tecnologia de incineração pela Braskem CS/AL	609,00 toneladas
Quantidade média de resíduo gerado no período de 2004 a 2009, a serem destinados ao tratamento, através da tecnologia de co-processamento pela Braskem CS/AL	226,51 toneladas
Quantidade média de resíduo gerada no período de 2004 a 2009 pela Braskem CS/AL, enviado ao valo classe I da extinta Cinal	1.860,50 m <sup>3</sup>
Produção anual de ECU - ano base 2009	352.587,00 toneladas

Fonte: (Autor, 2011).

Para a Braskem CS/AL o aumento do custo de ECU com a adoção das novas tecnologias de incineração e co-processamento, com base no preço da empresa Cetrel Lumina é:

$$\Rightarrow \text{Aumento do custo de produção do ECU (R\$/tonelada)} = [(609,00 \times 2.060,00) + (226,51 \times 560,00) - (1.860,50 \times 200) / (352.587)] = \text{R\$ 2,86}$$

Se comparado o custo de dispor resíduos em valo classe I, com as tecnologias de incineração e de co-processamento apresentada pela empresa Cetrel Lumina para a Braskem CS/AL, tomando como base a produção anual de ECU da Braskem CS/AL, o produto ECU terá um aumento de R\$ 2,86 no custo de produção de 1 ton, valor este referente à diferença do custo de dispor resíduos em valos com o custo das novas tecnologias, este valor impactará no resultado financeiro da empresa, porém promoverá a redução do passivo ambiental em relação a não disposição de resíduos perigosos em valos.

Será analisado o aumento do custo da produção de ECU (R\$/tonelada) com a adoção das novas tecnologias de incineração e co-processamento para os resíduos

sólidos industriais da Braskem PVC/AL e da extinta, com base nos anos de 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 individualmente, foi utilizada a tabela 31 como premissas.

Para os dados de preço médio (base 2009) para o tratamento de resíduos sólidos a ser destinada a tecnologia de incineração da empresa Cetrel Lumina, o preço médio (ano base 2009) para tratamento de resíduos sólidos a ser destinada a tecnologia de co-processamento da empresa Cetrel Lumina e o preço médio (ano base 2009) para disposição de resíduos sólidos em valos pela Braskem PVC/AL, utilizou-se a tabela 28.

Tabela 31- Premissas para análise do impacto do custo na produção de ECU- Anual.

Premissa	Detalhe da Premissa
Quantidade de resíduo gerado destinado ao tratamento através da tecnologia de incineração pela Braskem CS/AL	Ano 2004: 606,00 toneladas Ano 2005: 1.098,00 toneladas Ano 2006: 754,00 toneladas Ano 2007: 334,00 toneladas Ano 2008: 515,00 toneladas Ano 2009: 347,00 toneladas
Quantidade de resíduo gerado, destinado ao tratamento, através da tecnologia de co-processamento pela Braskem CS/AL	Ano 2004: 327,00 toneladas Ano 2005: 430,00 toneladas Ano 2006: 80,00 toneladas Ano 2007: 387,00 toneladas Ano 2008: 106,00 toneladas Ano 2009: 29,00 toneladas
Quantidade de resíduo gerada pela Braskem CS/AL, enviado ao valo classe I da extinta Cinal	Ano 2004: 1.682,00 toneladas Ano 2005: 3.549,00 toneladas Ano 2006: 2.352,00 toneladas Ano 2007: 1.453,00 toneladas Ano 2008: 1.733,00 toneladas Ano 2009: 484,00 toneladas
Produção de ECU	Ano 2004: 381.460 toneladas Ano 2005: 387.510 toneladas Ano 2006: 370.580 toneladas Ano 2007: 381.133 toneladas Ano 2008: 394.510 toneladas Ano 2009: 352.587 toneladas

Fonte: (Autor, 2011).

Para a Braskem CS/AL o aumento de custo de ECU com a adoção das novas tecnologias de incineração e co-processamento, com base no preço da empresa Cetrel Lumina é:

⇒ Ano 2004:

$$\checkmark \text{ CS/AL: Aumento do custo de produção do ECU (R\$/tonelada) = } \\ \text{ [(606,00 x 2.060,00) + (327,00 x 560,00) - (1.682,00 x 200) / (381.460)] = } \\ \text{ R\$ 2,87}$$

⇒ Ano 2005:

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ CS/AL: Aumento do custo de produção do ECU (R\$/tonelada)} &= \\ &= [(1.098,00 \times 2.060,00) + (430,00 \times 560,00) - (3.459,00 \times 200) / (387.510)] \\ &= \text{R\$ 4,67} \end{aligned}$$

⇒ Ano 2006:

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ CS/AL: Aumento do custo de produção do ECU (R\$/tonelada)} &= \\ &= [(754,00 \times 2.060,00) + (80,00 \times 560,00) - (2.352,00 \times 200) / (370.580)] = \\ &= \text{R\$ 3,04} \end{aligned}$$

⇒ Ano 2007:

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ CS/AL: Aumento do custo de produção do ECU (R\$/tonelada)} &= \\ &= [(334,00 \times 2.060,00) + (387,00 \times 560,00) - (1.453,00 \times 200) / (381.133)] = \\ &= \text{R\$ 1,61} \end{aligned}$$

⇒ Ano 2008:

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ CS/AL: Aumento do custo de produção do ECU (R\$/tonelada)} &= \\ &= [(515,00 \times 2.060,00) + (106,00 \times 560,00) - (1.733,00 \times 200) / (394.510)] = \\ &= \text{R\$ 1,92} \end{aligned}$$

⇒ Ano 2009:

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ CS/AL: Aumento do custo de produção do ECU (R\$/tonelada)} &= \\ &= [(347,00 \times 2.060,00) + (29,00 \times 560,00) - (484,00 \times 200) / (352.587)] = \\ &= \text{R\$ 1,80} \end{aligned}$$

Se comparado o custo de dispor resíduos em valo classe I, com as tecnologias de incineração e de co-processamento apresentada pela empresa Cetrel Lumina para a Braskem CS/AL, tomando como base a produção anual de ECU da Braskem CS/AL, no período de 2004 a 2009, teremos os seguintes aumentos:

Para o ano de 2004 o produto ECU terá um aumento de R\$ 2,87 no custo de produção de 1 ton a maior, valor este referente à diferença do custo de dispor resíduos em valos com o custo das novas tecnologias, este valor impactará no resultado financeiro da empresa, porém promoverá a redução do passivo ambiental em relação a não disposição de resíduos perigosos em valos.

Para o ano de 2005 o produto ECU terá um aumento de R\$ 4,67 no custo de produção de 1 ton a maior, valor este referente à diferença do custo de dispor

resíduos em valos com o custo das novas tecnologias, este valor impactará no resultado financeiro da empresa, porém promoverá a redução do passivo ambiental em relação a não disposição de resíduos perigosos em valos.

Para o ano de 2006 o produto ECU terá um aumento de R\$ 3,04 no custo de produção de 1 ton a maior, valor este referente à diferença do custo de dispor resíduos em valos com o custo das novas tecnologias, este valor impactará no resultado financeiro da empresa, porém promoverá a redução do passivo ambiental em relação a não disposição de resíduos perigosos em valos.

Para o ano de 2007 o produto ECU terá um aumento de R\$ 1,61 no custo de produção de 1 ton a maior, valor este referente à diferença do custo de dispor resíduos em valos com o custo das novas tecnologias, este valor impactará no resultado financeiro da empresa, porém promoverá a redução do passivo ambiental em relação a não disposição de resíduos perigosos em valos.

Para o ano de 2008 o produto ECU terá um aumento de R\$ 1,92 no custo de produção de 1 ton a maior, valor este referente à diferença do custo de dispor resíduos em valos com o custo das novas tecnologias, este valor impactará no resultado financeiro da empresa, porém promoverá a redução do passivo ambiental em relação a não disposição de resíduos perigosos em valos.

Para o ano de 2009 o produto ECU terá um aumento de R\$ 1,80 no custo de produção de 1 ton a maior, valor este referente à diferença do custo de dispor resíduos em valos com o custo das novas tecnologias, este valor impactará no resultado financeiro da empresa, porém promoverá a redução do passivo ambiental em relação a não disposição de resíduos perigosos em valos.

#### **4.4 Considerações do Capítulo**

Em relação ao inventário de resíduos sólidos perigosos, verifica-se que existem grandes oportunidades de redução na fonte, já que os grandes geradores foram identificados de uma forma clara, porém existe um grande trabalho a ser realizado, principalmente no que se refere à disposição adequada dos resíduos sólidos, em função de caracterização correta, este fato pode ser minimizado mediante um programa de educação ambiental.

Para a análise econômica, observa-se que quando são analisados ano a ano os custos, ao invés da média de um período (ano de 2004 a 2009) esta avaliação

econômica é pontual, pois possíveis gerações que ocorreram num determinado ano, não ocorrerão no ano seguinte. O ideal para realizar a avaliação econômica, mas acurada é analisar um determinado período como um todo e ano a ano, desta forma pode-se ter uma análise econômica correta.

## 5 CONCLUSÃO

Os critérios de sustentabilidade ambiental possuem excelentes oportunidades de agregar valor ao negócio, ao optar por processos de gestão eficiente, adotando estratégias preventivas, tecnologias e procedimentos de produção ecologicamente mais adequados e minimizando ou eliminando na fonte a geração de resíduos e de passivos potenciais. Encontrar soluções ambientalmente sustentáveis, socialmente justas e economicamente viáveis tem se transformado num desafio para os gestores de resíduos. O gerenciamento adequado dos resíduos sólidos requer cada vez mais recursos, portanto a escolha do tipo de tecnologia adotado para destinação final de resíduos deve levar em conta os custos implícitos no processo de tratamento e as especificidades locais.

O levantamento do inventário dos resíduos sólidos perigosos (classe I) dispostos nos valos do período de 2004 a 2009 se deu através de um sistema informatizado e robusto e de simples operação. No levantamento dos resíduos sólidos perigosos observa-se que existem resíduos que possuem grandes oportunidades de redução na fonte, conforme descrito no inventário de resíduos sólidos, dentre eles a geração de resíduos dos separadores de areia e óleo e dos resíduos sólidos do leito de secagem da unidade de tratamento de efluentes da extinta Cinal. Para a Braskem PVC/AL e Braskem CS/AL a mistura de resíduos, devido a não classificação adequada pelo gerador é um problema de educação ambiental.

Para a definição das tecnologias a serem empregadas para o tratamento dos resíduos sólidos perigosos (classe I) em substituição a disposição destes resíduos em valos, foram observadas as respectivas características físicas, químicas e biológicas dos resíduos, onde as tecnologias, mais adequadas são a da incineração e a de co-processamento em relação à disposição em valos.

Como passivos ambientais normais podem-se entender os decorrentes do processo produtivo, onde há emissão de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, com possibilidade de controle, prevenção e, em alguns casos, de reaproveitamento. Os passivos ambientais anormais são decorrentes de situações não passíveis de controle pela empresa e fora do contexto das operações, como exemplo, um acidente com um reservatório de material tóxico ou altamente poluente provocado por raio, terremoto, furacão ou outro evento aleatório. A análise econômica da

viabilidade da implantação das novas tecnologias de incineração e co-processamento para tratamento de resíduos sólidos perigosos (classe I) em substituição a disposição dos resíduos sólidos perigosos (classe I) em valos, conclui-se que o projeto acarretará em um aumento de custo para a produção de PVC da Braskem PVC/AL e da produção de ECU da Braskem CS/AL, mas que será fundamental para buscar a redução do passivo ambiental, dos resíduos que são dispostos em valos para os resíduos perigosos.

As medidas de P2 devem ser avaliadas e adotadas de acordo com a sua viabilidade técnica e econômica, com uma visão sustentável sendo que aquelas que não forem nem técnica nem economicamente viáveis no contexto atual, devem ser adiadas para uma posterior realização.

As demais medidas P2 podem ser selecionadas a critério da empresa, sendo estas priorizadas e implantadas se necessário, investimentos específicos deverão ser realizados para esta implantação. Após a seleção das oportunidades de P2 através do levantamento das tecnologias disponíveis e da análise da viabilidade econômica, deve-se iniciar a implementação das respectivas medidas a serem adotadas, de acordo com metas e objetivos estabelecidos, e acompanhadas segundo um cronograma que se leve em conta os projetos a serem executados.

Como sugestão para a evolução deste trabalho de gestão ambiental, um dos passos importante seria obter ao máximo o conhecimento de todo do processo produtivo e a tecnologia empregada neste processo, tendo como foco principal, a identificação da variabilidade da geração de resíduos sólidos, quando do processo produtivo na produção máxima, na produção média e na produção baixa, com este levantamento obterá grandes oportunidades de redução de resíduos na fonte.



## REFERÊNCIAS

- ABDANUR, A. **Remediação de solo e água subterrânea contaminados por hidrocarbonetos de petróleo: estudo de caso na refinaria Duque de Caxias/RJ**. 2005. 156p. Dissertação (mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.
- ABETRE. **Estudo sobre o setor de tratamento de resíduos industriais**, 2006.
- ABIQUIM. Associação Brasileira da Indústria Química. **Código de proteção ambiental. Guia de implantação**. Série: Atuação Responsável, São Paulo: Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM, 1ª edição, 1995. 107p. ISBN 85-07-00044-4.
- ABIQUIM. Associação Brasileira da Indústria Química. **Relatório de atuação responsável**, São Paulo: Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM, 2001, p.14. ISSN 1676-1782.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10004. **Resíduos sólidos: Classificação**. Rio de Janeiro, ABNT, 2004, 71 pág.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10005. **Lixiviação de resíduos: Procedimento**. Rio de Janeiro, ABNT, 2004, 16 pág.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10006. **Solubilização de resíduos: Procedimento**. Rio de Janeiro, ABNT, 2004, 3 pág.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10007. **Amostragem de resíduos: Procedimento**. Rio de Janeiro, ABNT, 2004, 21 pág.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 8418. **Apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos**. Rio de Janeiro, ABNT, 1984, 17 pág.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10157. **Aterros de resíduos perigosos - Critérios para projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, ABNT, 1987, 13pág.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. ABRELPE, 2006. Disponível em:<[www.aberelpe.org.br](http://www.aberelpe.org.br)>. Acessado em 10 de julho de 2010.
- AZEVEDO, R. A. B.. **A sustentabilidade da agricultura e os conceitos de sustentabilidade estrutural e conjuntural**. Revista Agricultura Tropical. Cuiabá, v.6, n.1, p. 9-42, 2002.

BATISTA, T. R. O. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Proposta de metodologia para avaliação de energia associada ao resíduo sólido industrial**. Campo Grande, 2005. 8 p.

BORGES, R. C. **Aplicação de resíduo ura na remediação química de solos contaminados por Cd, Pb e Zn**. 2007. 99p. Dissertação (mestrado em Ciência). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia.

BRAILE, V.V. **Publicação eletrônica**, 2002 [mensagem pessoal]. Mensagem recebida de <vbraile@globo.com> por <elizeu@merck.com.br>. Acesso em abril de 2011.

BRASIL, A. M.; SANTOS, F. **Equilíbrio ambiental e resíduo na sociedade moderna**. São Paulo. Ed. FAARTE. 2004.

BRASKEM. **Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Alagoas, 2007.

CARPIO, R. C.; COSTA, M. S. **Otimização e modelagem no co-processamento de resíduos industriais na indústria de cimento envolvendo custos, Qualidade e Impacto Ambiental**. 8º Congresso Ibero Americano de Ingenieria Mecânica. Cusco, México, 2007.

CEMBUREAU. **“Best available techniques for the cement industry”**. A Contribution from the European Cement Industry to the Exchange of Information and Preparation of the IPPC BAT REFERENCE Document for the Cement Industry. 1999.

CEMBUREAU. **Alternative fuels in cement manufacture**, 2006.  
CEMPRE, 2010. Disponível em: <[www.cempre.org.br/fotos.php](http://www.cempre.org.br/fotos.php)>. Acesso em abril de 2011.

CETESB. **Resíduos sólidos industriais**, v.1. p. 32 - 43. São Paulo, SP, 1993.  
COHEN, E. FRANCO, R. **Evaluacion de Proyectos Sociales**. Buenos Aires: Grupo Editor Latinoamericano, 1988.

CETESB. **Prevenção à poluição. Conceitos e definições**, 1998. Disponível em <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Ambiente/prevencao\\_poluicao/conceitos.htm](http://www.cetesb.sp.gov.br/Ambiente/prevencao_poluicao/conceitos.htm)>. Acesso em 09.07.2011.

CETESB. **Prevenção à poluição**. Downloads. Manuais Ambientais. Manual de Implementação de um Programa de Prevenção à Poluição, arquivo editado em 07.11.2000. Disponível em <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Ambiente/prevencao\\_poluicao/downloads.htm](http://www.cetesb.sp.gov.br/Ambiente/prevencao_poluicao/downloads.htm)>. Acesso em 07.03.2011.

COHEN, E. FRANCO, R. **Evaluacion de proyectos sociales**. Buenos Aires: Grupo Editor Latinoamericano, 1988.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB.  
**Investigação para remediação** - Capítulo X. São Paulo: CETESB, 2007, p. 7.

CONFERÊNCIA DAS AMÉRICAS PARA PRODUÇÃO MAIS LIMPA. CETESB, EPA, UNEP e outras - São Paulo, Brasil, agosto/1998 - **Mesa redonda das américas de P+L**, Carta de São Paulo, 1998.

CONSALTER, M. A. S.. **Sistema de produção lavoura-pecuária: uma abordagem para a construção de indicadores integrados de sustentabilidade**. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

DECRETO ESTADUAL DE ALAGOAS. Nº 6200/1985- **Estabelece medidas de proteção ambiental na área de implantação do pólo cloroquímico de Alagoas e dá outras providências**. Disponível em: <  
[http://www.ima.al.gov.br/legislacao/decretos-Estaduais/Decreto%20nb0%206.200\\_85.pdf](http://www.ima.al.gov.br/legislacao/decretos-Estaduais/Decreto%20nb0%206.200_85.pdf) >. Acessado em 14 de novembro de 2011.

DEMAJOROVIC, J. **Sociedade de risco e responsabilidade socioambiental: Perspectivas para a educação corporativa**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2003.

DEMPSEY, C. R., OPPELT, T. **Incineração de resíduos perigosos: Uma versão crítica atual**, A & WMA. Seção Brasil, São Paulo, 1999, 78f.  
Disponível em: <[www.abiquim.org.br/conteudo.asp?princ=ain](http://www.abiquim.org.br/conteudo.asp?princ=ain)>. Acesso em 20 de agosto de 2011.

DONAIRE, D. **Gestão ambiental na empresa**. São Paulo: Atlas, 1995.

DRUMMOND, M. F., MCGUIRE, A. **Economic evaluation in health care**. 1 ed. New York: Oxford University Press, 2001.

ELIZEU, R. N. **O Gerenciamento ambiental na indústria: Prevenção da poluição e redução de resíduos. O caso da indústria farmacêutica**. Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado- Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, 2002.

EPA. Environmental Protection Agency. **Decreto-lei. Pollution prevention act of 1990**.

EPA. Environmental Protection Agency. **Facility pollution prevention guide**. Ohio, 1992a. 143p. EPA/600/R-92/088.

EPA. Environmental Protection Agency. **A practical guide to pollution prevention planning**. AIPP – American Institute for Pollution Prevention. Chicago, Illinois. EPA/742/B-92/100. 14-15. Out. 1992b.

EPA. Environmental Protection Agency. **Federal facility pollution prevention planning guide. Office of enforcement and compliance assurance**. Washington, DC 20460. EPA 300-B-94-012. Nov. 1994a.

EPA. Environmental Protection Agency. **Low-temperature thermal desorption**. 34p. 1994b. Disponível em: < [http://www.epa.gov/oust/pubs/tum\\_ch6.pdf](http://www.epa.gov/oust/pubs/tum_ch6.pdf)>. Acesso em: 09 de julho de 2011.

EPA. Environmental Protection Agency. **Ground water Issue steam injection for soil and aquifer remediation**. 16p. 1998a. Disponível em: <[www.epa.gov](http://www.epa.gov)>. Acesso em: 07 de julho de 2011.

EPA. Environmental Protection Agency. **Landfarming**. 1998b. Disponível em: <<http://www.epa.gov/OUST/cat/lanfarming.htm>>. Acesso em: 09 de julho de 2011.

EPA. Environmental Protection Agency. **A citizen's guide to soil vapor extraction and air sparging**. 2p. 2001a. Disponível em: <[www.epa.gov/superfund/sites](http://www.epa.gov/superfund/sites)>. Acesso em: 07 de julho de 2011.

EPA. Environmental Protection Agency. **A citizen's guide to thermal treatment**. Office of Solid Waste and Emergency Response, 2001b.

EPA. Environmental Protection Agency and **Science applications international corporation**. LCAccess - LCA 101. 2001c. Retrieved from: <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/lca101.htm>. Acesso em: 09 de julho de 2011.

ESSENCIS, 2004. Disponível em: <[www.essencis.com.br/solucoesambientais/tratamento-e-destinacao-de-residuos/aterro-classe-i-e-ii](http://www.essencis.com.br/solucoesambientais/tratamento-e-destinacao-de-residuos/aterro-classe-i-e-ii)>. Acesso em abril de 2011.

FALCIGLIA, P. P., GIUSTRA, M. G. e VAGLIASINDI, F. G. A. **Low-temperature thermal desorption of diesel polluted soil: Influence of temperature and soil texture on contaminant removal kinetics**. Science Direct. Journal of Hazardous Materials. Volume 185, Issue 1, 15 January 2011, Pages 392-400.

FAUSTO, A. A., CHASIN, A. A. M. **Metais: Gerenciamento da toxicidade**. São Paulo. Ed. ATHENEU, 2003.

FERRÃO, P.C. **A Questão da sustentabilidade: Introdução à gestão ambiental e avaliação do ciclo de vida de produtos**. Ed. IST Press, Lisboa, Portugal. p.15. 1998.

FERREIRA C. A.; LOUREIRO C. A. **Economia em saúde com foco em saúde bucal**: revisão de literatura. Epidemiologia e Serviços de Saúde, Brasília, v. 15, n. 4, p. 55-65. out./dez. 2006.

FROSCH, R. A. **No caminho para o fim dos resíduos**. TECBAHIA R. Baiana Technol. Camaçari: v. 12, n.2, mai/ago. 1997.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). 2º Caderno de pesquisa de engenharia de saúde pública / Fundação Nacional de Saúde. - Brasília: Funasa, 2006. 204 p. : il

FURTADO, J. S. Departamento de Engenharia de Produção & Fundação Vanzolini. **Prevenção de resíduos na fonte & economia de água e energia** – Manual de Avaliação na Fábrica. São Paulo, Novembro de 1998, 231 p.

GERBER, W. **Impacto ambiental: Resíduos sólidos e reciclagem**. Pelotas: UCPEL, 1999. 40p.

ISO 14040, (1997). Environmental management - Life cycle assessment - **Principles and framework**. Genève: Switzerland.

JOHNSTON, C. D., RAYNER J. L., PETERSON B. M. e DAVIS G. B. **Volatilisation and biodegradation during air sparging of dissolved BTEXcontaminated groundwater**. Science Direct. Journal of Contaminant Hydrology, Volume 33, Issues 3-4, October 1998, Pages 377-404.

KINLAW, Dennis C., **Empresa competitiva e ecológica: desempenho sustentado na era ambiental**. São Paulo: Makron Books, 1997. 250p.

LANNA, A. E. **Economia dos recursos hídricos: Parte 2**. 2001. 144p Texto de referência da disciplina HIDP-04 Economia dos Recursos Hídricos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2001.

LIEBL P., GERBER W. **Nutzen und Grenzen beim Einsatz Von Sekundärstoffen**. Zement-Kalk-Gips 1993; 10: 632-638.

LIMA, R. G. C.; Ferreira, O. M. **Resíduos industriais: Métodos de tratamento e análise de custos**. Goiânia. Universidade Católica de Goiás, 18p, 2007.

LORA, E. S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energéticos**, industrial e de transporte/Electo Silva Lora. Brasília. ANEEL, 2000.

MATTIOLI, C.E. **Avaliação de parâmetros na implantação de processo para tratamento de resíduos sólidos de serviço de saúde**. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental- ABES. Vitória, 2002.

MARINGOLO, V. **“Clínquer co-processado: Produto de tecnologia integrada para sustentabilidade e competitividade na indústria de cimento”**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo – SP, 2001.

MAROUN, C. A. **Manual de gerenciamento de resíduos: Guia de procedimento passo a passo SEBRAE**. Rio de Janeiro: GMA, 2ª Edição, 2006.

McBEE, B.R. **Pollution prevention assessment manual. A guide for large quantity generators and TRI reporters in preparing a source reduction and waste minimization plan**. Ed. Texas Resource Conservation Commission, Austin, TX, USA. Jul. 1998.

MEIRELLES, S. L. **Química verde: A indústria química e seus impactos na indústria da construção**. 2009. 165p Dissertação (mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

MENEZES, R. A. A., GERLACH, J. L., MENEZES, M. A. **Associação Brasileira de limpeza pública “Estágio atual da incineração no Brasil”**. VII Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública 3 a 7 de Abril de 2000, Parque Barigui – Curitiba.

MERCEDES BENZ DO BRASIL. **Resíduos ambulatoriais: descontaminação / incineração**. São Paulo, 1997. (mimeo)

MISSIAGGIA, R. R. **Gestão de resíduos sólidos industriais- Caso springer Carrier**. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

MOROSINE, F. **Controle ambiental de resíduos sólidos industriais**, 2006. Disponível em: < [http://www.sudema.pb.gov.br/textos\\_balneabilidade\\_pb.shtml](http://www.sudema.pb.gov.br/textos_balneabilidade_pb.shtml) > Acessado em 20 de agosto de 2011.

MORSELLI, L., ROBERTIS, C., LUZI, J., PASSARINI, F. e VASSURA, I. **Environmental impacts of waste incineration in a regional system** (Emilia Romagna, Italy) evaluated from a life cycle perspective. Science Direct. Journal of Hazardous Materials, Volume 159, Issues 2-3, 30 November 2008, Pages 505-511.

NASCIMENTO, S. C., HYPOLITO, R. e RIBEIRO, A. A. **Disponibilidade de metais pesados em aterro de indústria siderúrgica**. Eng. Sanit. Ambient. [online]. 2006, vol.11, n.3, pp. 196-202. ISSN 1413-4152. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522006000300002>.

NIEHEUS, R. C. **Autoclaves verticais: uma proposta de sistema para garantia do processo de esterilização**. 2004. 74p Dissertação (mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

OLIVEIRA, D. M. **Aplicação da técnica de solidificação / estabilização para resíduos oleosos da indústria petrolífera utilizando solo argiloso e bentonita**. Florianópolis. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

ORGANIZAÇÃO CIMENTO.ORG, 2005. Disponível em: <[www.cimento.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=25&Itemid=28](http://www.cimento.org/index.php?option=com_content&view=article&id=25&Itemid=28)>. Acesso em 20 de agosto de 2011. Disponível em: <[www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm)>. Acesso em 20 de agosto de 2011.

PAUDYN, K., RUTTER, A., ROWE, K. POLAND, J. **Remediation of hydrocarbon contaminated soils in the Canadian arctic by landfarming**. Science Direct. Cold Regions Science and Technology, Volume 53, Issue 1, June 2008, Pages 102-114.

PEREIRA, A. S. **Emissões de CO<sub>2</sub> evitadas e outros benefícios econômicos e ambientais trazidos pela conservação de energia decorrente da reciclagem de resíduos sólidos no Brasil**. Programa de Planejamento Energético-COPPE/UFRJ – 2002. Disponível em: <[www.race.nuca.ie.ufrj.br/eco/trabalhos/mesa2/1.doc](http://www.race.nuca.ie.ufrj.br/eco/trabalhos/mesa2/1.doc)>. Acesso em abril de 2011.

RESOLUÇÃO CONAMA n° 264/99 - **Dispõe sobre o licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividade de co-processamento de resíduos**. Disponível em;<<http://www.mma.gov.br>>. Acessado em 09 de julho de 2011.

RESOLUÇÃO CONAMA. N° 313/2002- **Dispõe sobre o inventário nacional de resíduos sólidos industriais**. Disponível em;<<http://www.mma.gov.br>>. Acessado em 09 de julho de 2011.

RESOLUÇÃO CONAMA. N° 430/2011- **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**. Disponível em;<<http://www.mma.gov.br>>. Acessado em 14 de novembro de 2011.

RIBEIRO FILHO, V. O. **Gerenciamento de resíduos de serviços de saúde – Tratamento e disposição final**. In: Curso gerenciamento de serviços de saúde. Curitiba: ABLP, 2000. p. 48-90.

RIO DE JANEIRO (Estado) Lei n° 2.011, de 10 de Julho de 1992. **Dispõe sobre a obrigatoriedade da implementação de programa de redução de resíduo**.

ROCCA, A. C. **Resíduos sólidos industriais**. Trabalho elaborado pelo corpo técnico da CETESB. 2.ed. rev. ampl. São Paulo: CETESB, 2002. 233 p.

RODRIGUES, N.R.; ANDRIETTA, M.G.S.; ANDRIETTA, S.R. e SANTOS, P.E.R. **Biodegradação do diclosulam por bactérias isoladas de solos cultivados com soja**. Planta daninha [online]. 2010, vol.28, n.2, pp. 373-400. ISSN 0100-8358. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582010000200019>.

RUTALA, W. A. **Desinfection, sterilization and waste disposal**. In: Wenzel RP (Ed) Prevention and control of nosocomial infections. Baltimore: Williams & Wilkin, 1997. p. 539-594.

SANTOS, L. C. **A questão dos resíduos sólidos urbanos: Uma abordagem sócio-ambiental com ênfase no município de Ribeirão Preto-SP**. 2004. 134p Dissertação (mestrado em Geografia). Universidade Federal Paulista. Rio Claro.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). **Gestão ambiental do serviço brasileiro de apoio às micro e pequenas empresas**. Rio de Janeiro: Edição SEBRAE, fascículo 2, 1996.

SILVA, A. B. **Gestão Ambiental na indústria: Uma avaliação do comportamento dos setores químico e petroquímico com relação aos passivos ambientais e os problemas causados em torno da baía de Guanabara.** 2001a. 118p  
Dissertação (mestrado em Ciências na área de Saúde Pública). Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro.

SILVA, C. M. M. S. **O fenômeno da biodegradação acelerada de pesticidas.** In: MELO, I. S. et al. Biodegradação. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001b. p. 15-28.

SOARES, F. R. **A educação ambiental na indústria química e petroquímica: Uma reflexão em busca da excelência.** 2006. 157p. Dissertação (mestrado em Sistema Integrado de Gestão). Centro Universitário Senac, Campus Santo Amaro. São Paulo, 2006.

THOSTENSON, E. T. e CHOU, T. W. **Microwave processing: fundamentals and applications.** Science Direct. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Volume 30, n. 9, September 1999, Pages 1055-1071.

UNIDO. United Nations Industrial Development Organization. **UNIDO Programme on cleaner industrial production.** ID/WG.544/I. Out.1995. Viena, Áustria. p.9-10.

ZHANG, F., YAMASAKI, S. e NANZYU, M. **Application of waste ashes to agricultural land — effect of incineration temperature on chemical characteristics.** Science Direct. The Science of The Total Environment, Volume 264, Issue 3, 17 January 2001, Pages 205-214.

ZVEIBIL, V. Z, MONTEIRO, J. H. P....[et al.]. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

WATANABE, K. **Microorganisms relevant to bioremediation.** Science Direct. Current Opinion in Biotechnology, Volume 12, Issue 3, 1 June 2001, Pages 237-241.

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development. Measuring ecoefficiency. **A guide to reporting company performance.** 37 pp. 2000.






**SEGUNDO A NBR 10004  
OS RESÍDUOS SÃO CLASSIFICADOS EM:**

CLASSE I	PERIGOSO
CLASSE II	NÃO-PERIGOSOS


O RESÍDUO CLASSE II SE DIVIDE EM:

CLASSE IIA	NÃO PERIGOSO - NÃO-INERTE
CLASSE IIB	NÃO-PERIGOSO - INERTE



**3**

Fonte: (BRASKEM, 2007).




**RESÍDUOS CLASSE I:**  
SÃO OS RESÍDUOS QUE APRESENTAM PERICULOSIDADE EM FUNÇÃO DE UMA DAS SEQUINTE CARACTERÍSTICAS:  
INFLAMABILIDADE, CORROSIVIDADE, REATIVIDADE, TOXICIDADE E PATOGENICIDADE, PROPORCIONANDO RISCO AO MEIO AMBIENTE E À SAÚDE PÚBLICA.

**RESÍDUOS CLASSE II A- NÃO INERTES:**  
AQUELES QUE NÃO SE ENQUADRAM NAS CLASSIFICAÇÕES DE RESÍDUOS CLASSE I OU DE RESÍDUOS CLASSE II B E PODEM APRESENTAR PROPRIEDADES DE BIODEGRADABILIDADE, COMBUSTIBILIDADE E SOLUBILIDADE EM ÁGUA.

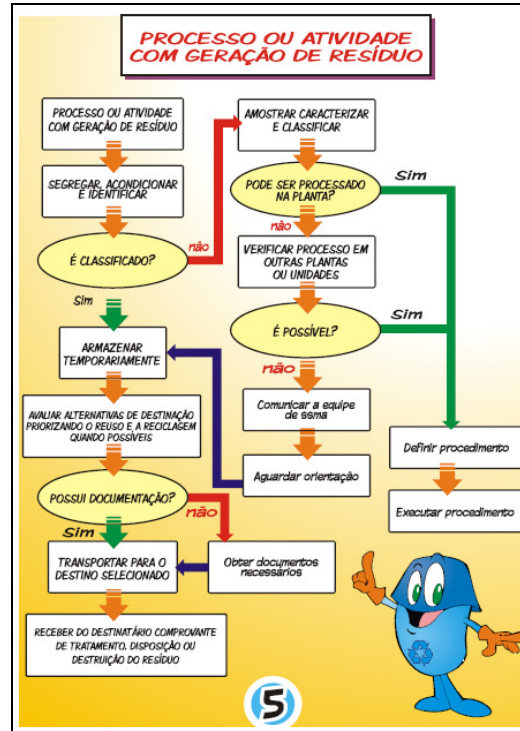
**RESÍDUOS CLASSE II B - INERTES:**  
SÃO RESÍDUOS QUE, QUANDO EM CONTATO COM ÁGUA DESTILADA, NÃO APRESENTAM NENHUM DE SEUS CONSTITUINTES SOLUBILIZADOS A CONCENTRAÇÕES SUPERIORES AOS PADRÕES DE POTABILIDADE DA ÁGUA, EXCETUANDO-SE OS PADRÕES DE COR, SABOR E TURBIDEZ.

AQUI NESTE MANUAL EDUCATIVO VOCÊ ENCONTRARÁ MUITAS INFORMAÇÕES DE COMO DISPOR OS RESÍDUOS CORRETAMENTE.



**4**

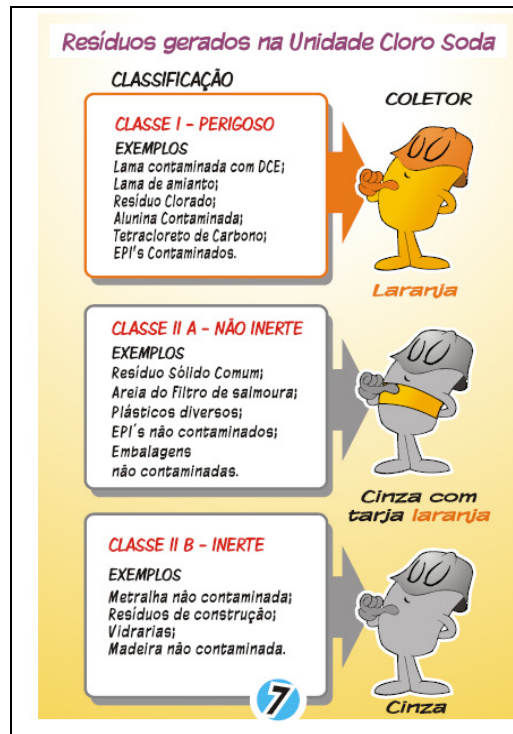
Fonte: (BRASKEM, 2007).



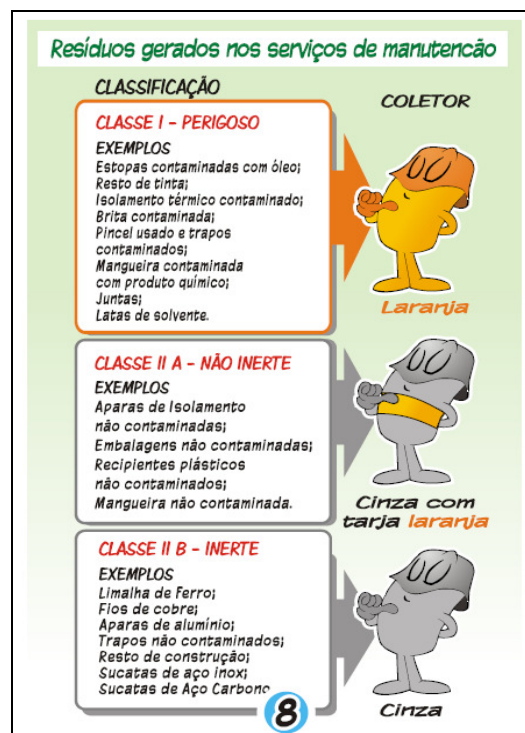
Fonte: (BRASKEM, 2007).




Fonte: (BRASKEM, 2007).



Fonte: (BRASKEM, 2007).



Fonte: (BRASKEM, 2007).



**PONTOS ESPECÍFICOS DE COLETA**

	RESÍDUO	PONTO DE COLETA
<b>CLASSE I</b>	Pilhas e baterias	Portaria da UCS e UPVC
	Resíduos de pintura	S4 A - 700
	Isolamento térmico contaminado	Conforme programação de serviços
	Resíduos de Enfermagem	Serviço médico
	Lâmpadas	Oficina da COMAU - CS Oficina de manutenção - PVC
<b>CLASSE II B</b>	Sucata	Área externa da manutenção- PVC Suprimentos - CS
	Madeira	Área externa da manutenção e A84 - PVC Ao lado da oficina da Mills - CS

**9**

Fonte: (BRASKEM, 2007).