



Trabalho Final de Mestrado em Engenharia Ambiental

Modalidade: Dissertação

**Gestão de resíduos perigosos em refinarias de petróleo**

Autor: Carlos Eduardo Soares Canejo Pinheiro da Cunha

Orientadora: Márcia Marques

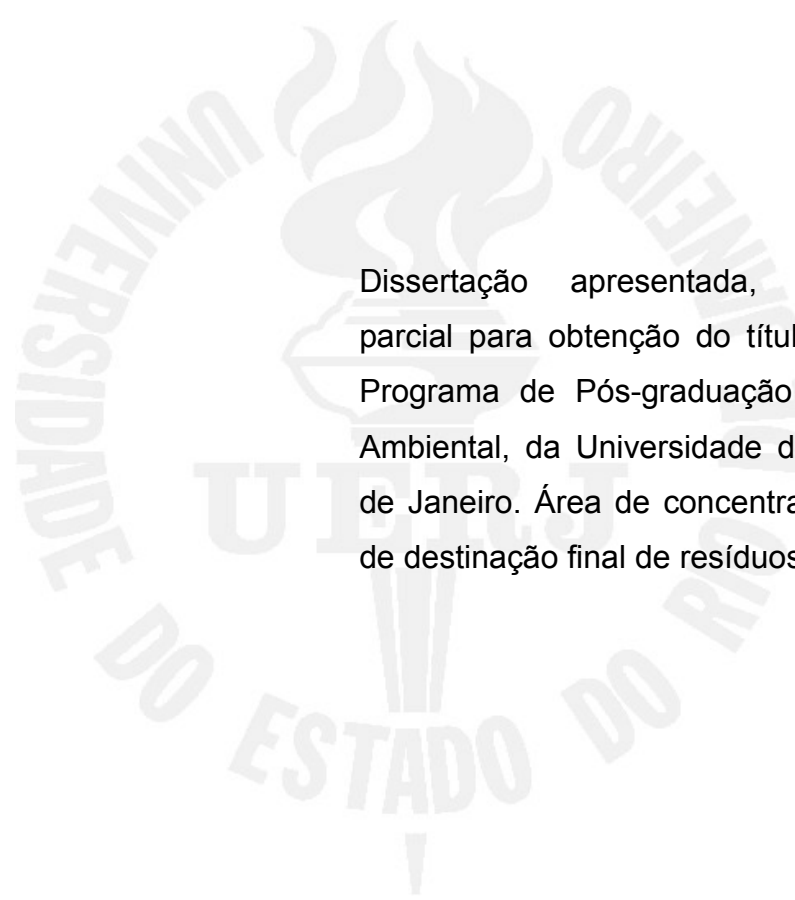
Centro de Tecnologia e Ciências  
Faculdade de Engenharia  
Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente

RIO DE JANEIRO – RJ

MARÇO DE 2009

Carlos Eduardo Soares Canejo Pinheiro da Cunha

## **Gestão de resíduos perigosos em refinarias de petróleo**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Tratamento de destinação final de resíduos sólidos

Orientadora: Professora PhD Marcia Marques Gomes

RIO DE JANEIRO – RJ  
MARÇO DE 2009

Carlos Eduardo Soares Canejo Pinheiro da Cunha

## **Gestão de resíduos perigosos em refinarias de petróleo**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Tratamento de destinação final de resíduos sólidos.

Aprovado em: 18 de março de 2009

Banca Examinadora:

---

Professora Marcia Marques Gomes - DESMA-FEN-UERJ

---

Professora Luciene Pimentel da Silva - DESMA-FEN-UERJ

---

Professor Alexandre Rodrigues Torres – FAT-UERJ

---

Professor Paulo Rubens Guimarães Barrocas - FIOCRUZ

RIO DE JANEIRO – RJ

MARÇO DE 2009

Á minha mulher Fabiola, ao meu filho Diogo, aos meus pais, Carlos e Mônica e aos meus grandes amigos Francisco, Eduardo e Laubs

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a minha mulher Fabiola Hatochyn pela paciência ao longo desse árduo período de dedicação acadêmica, onde muitas vezes estive ausente em prol de minhas pesquisas, muito obrigado por todo seu companheirismo e incentivo para conclusão desta jornada.

Agradeço também a minha avó, Lia Canejo, por todo apoio e carinho nas horas mais difíceis e também nas mais agradáveis.

Agradeço aos meus pais, Carlos e Mônica por acreditarem em mim como profissional e por me incentivarem no meu interesse pela área acadêmica, obrigado, também pelo companheirismo e pelo apoio.

Agradeço aos meus diversos professores da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Universidade Federal Fluminense e da Universidade Veiga de Almeida que me auxiliaram com ricos conhecimento e informações valiosas para elaboração da presente pesquisa.

Agradeço a Maria José Saroldi por ter me mostrado os primeiros caminhos no início de minha jornada na área ambiental.

Agradeço também a minha orientadora Márcia Marques por acreditar nesta pesquisa e por sua dedicação nas muitas horas que compuseram este trabalho.

E por fim, agradeço a meu futuro filho, Diogo Hatochyn Canejo, que nascerá em março de 2009, pela força e alegria que já me dá, mesmo ainda sendo gerado, tornando este trabalho mais prazeroso e me incentivando a concluir-lo com êxito.

***“A natureza reservou para si tanta liberdade que não a podemos nunca penetrar completamente com o nosso saber e a nossa ciência”***

Johann Goethe

## RESUMO

Diferentes etapas do refino do petróleo resultam na geração de resíduos oleosos que possuem em sua composição substâncias que imprimem periculosidade aos mesmos, que, caso venham a contaminar o solo, podem impactar a biota da área, atingir os lençóis freáticos, rios e lagos da região, agredindo diretamente ou indiretamente a saúde humana e gerando custos ambientais, sociais e monetários muito altos. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a gestão dos resíduos sólidos perigosos gerados na atividade de refinarias de petróleo no Brasil, descrevendo processos, caracterizando a geração dos mesmos em cada etapa do refino e avaliando técnicas de tratamento e de destinação final. Ao longo do texto, foram abordados conceitos de gestão ambiental e de logística reversa, com o objetivo de ressaltar benefícios ambientais e sócio-econômicos advindos de uma gestão adequada do processo de gestão. Sobre a gestão dos resíduos, são apreciados os conceitos básicos desta, compondo-se uma abordagem prática e simplificada, sendo avaliadas estratégias de minimização de resíduos com base nos 3R's, algumas metodologias de tratamento e a utilização de aterros industriais como local de destinação final para os resíduos. Para a estruturação da dissertação proposta, foi executada uma revisão bibliográfica, além da construção de uma linha de coesão entre os objetos estudados. Conclui-se que atualmente não existe metodologia de gestão tão eficiente que seja totalmente sustentável, nem gestão que possa ser baseada em apenas uma prática ou metodologia. A integração de conceitos e práticas, incluindo programas de minimização de resíduos, logística reversa, tratamento e destinação final faz-se necessária para uma gestão mais eficiente dos resíduos oleosos. Porém, deve-se destacar as novas oportunidades gerenciais associadas à logística reversa, bem como a necessidade de utilização dos aterros industriais em alguma etapa da gestão, assim como a atual tendência à adoção do co-processamento como metodologia de tratamento que apresenta a melhor relação custo x benefício para a gestão dos resíduos perigosos gerados nas refinarias de petróleo.

**Palavras-chave:** Resíduos perigosos, refino do petróleo, gestão de resíduos, sustentabilidade e logística reversa.

## ABSTRACT

Different stages of the petroleum refining generate oil wastes that have hazardous substances. When oil waste contaminates the soil it may cause impacts on living resources, reaching groundwater, rivers and lakes in the region, affecting directly or indirectly the human health, with environmental, social and economic costs that can be very high. The objective of this study was to assess the management of hazardous solid wastes generated at petroleum refineries, describing processes and characterizing the way these wastes are generated in different stages of the refining process. The study also included assessment of treatment options and final disposal strategies. Principles of environmental management and reverse logistics were addressed with the objective of highlighting the environmental and socio-economic benefits added by a suitable management scheme. The basic concepts related to solid waste management are discussed in a practical and simplified language, and the minimization strategies are evaluated based on 3R's principle. Treatment methodologies and the relevance of utilizing industrial landfills as final disposal solution are presented. Besides the literature survey, the construction of a red thread connecting the issues is presented. It was concluded that currently, there is no management scheme for oil waste efficient enough to be considered sustainable, neither management option that can be based on a single technology or methodology. An integration of concepts and different practices including waste minimization, reverse logistics, treatment and final disposal is needed in order to achieve a more efficient oil waste management. However, it is worth to highlight new managerial opportunities related to reverse logistics, as well as the need to make use of industrial landfills in some point of the process and the current trend of co-processing as the option that presents the best cost-benefit for management of oil hazardous wastes generated by petroleum refineries.

Keywords: Hazardous wastes, petroleum refining, waste management, sustainable and reverse logistic.



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 01:</b> Principais pressões existentes sobre as empresas.....	15
<b>Figura 02:</b> Sustentabilidade, o equilíbrio entre recursos ambientais, sociais e econômicos.....	16
<b>Figura 03:</b> Esquema simplificado de refino.....	31
<b>Figura 04:</b> Fluxograma hipotético de refino.....	32
<b>Figura 05:</b> Esquema de identificação de resíduos.....	51
<b>Figura 06:</b> Fluxograma de caracterização dos resíduos gerados nas refinarias.....	62
<b>Figura 07:</b> Fluxograma de caracterização de constituintes perigosos.....	62
<b>Figura 08:</b> Fluxograma hipotético de refino: Pontos de geração de resíduos perigosos.....	66
<b>Figura 09:</b> Esquema de geração de sedimentos de tanques de armazenamento.....	70
<b>Figura 10:</b> Esquema de geração de resíduos de enxofre nas refinarias.....	73
<b>Figura 11:</b> Atuais influências nos modelos de gestão de resíduos.....	75
<b>Figura 12:</b> Ciclo PDCA como ferramenta de gestão.....	77
<b>Figura 13:</b> Fluxograma de gerenciamento dos resíduos nas refinarias.....	80
<b>Figura 14:</b> Fluxograma de minimização de resíduos.....	82
<b>Figura 15:</b> Fluxograma de redução na fonte geradora.....	84
<b>Figura 16:</b> Principais objetivos da logística.....	87
<b>Figura 17:</b> Representação esquemática dos objetivos da logística reversa.....	89
<b>Figura 18:</b> Esquema comparativo de fluxos de ação da logística e da logística reversa.....	90
<b>Figura 19:</b> Esquema de fluxos reversos de bens de pós-consumo.....	91
<b>Figura 20:</b> Esquema de operação da metodologia de landfarming.....	102
<b>Figura 21:</b> Fluxograma de operação do co-processamento em fornos de cimento.....	107
<b>Figura 22:</b> Câmara de plasma.....	109
<b>Figura 23:</b> Objetivos técnicos da disposição final em aterros industriais.....	111
<b>Figura 24:</b> Esquema de impermeabilização inferior e superior dos aterros industriais.....	115
<b>Figura 25:</b> Sistema de drenagem principal de percolado, dreno de base de aterro.....	116
<b>Figura 26:</b> Representação esquemática do sistema de drenagem de percolado.....	117
<b>Figura 27:</b> Fluxograma do modelo de gestão adotado	124

## LISTA DE QUADROS

	Pág.
<b>Quadro 01:</b> Classificação de resíduos sólidos .....	53
<b>Quadro 02:</b> Exemplos de geração de resíduos perigosos.....	56
<b>Quadro 03:</b> Resíduos sólidos perigosos gerados em refinarias.....	64
<b>Quadro 04:</b> Resíduos perigosos gerados nas unidades de refino e suas características.....	67
<b>Quadro 05:</b> Estimativa de geração de resíduos na Refinaria de Duque de Caxias em 2003.....	73
<b>Quadro 06:</b> Vantagens e desvantagens da estabilização e da solidificação.....	97
<b>Quadro 07:</b> Vantagens e desvantagens da secagem e desidratação de lodos.....	99
<b>Quadro 08:</b> Vantagens e desvantagens da incineração.....	101
<b>Quadro 09:</b> Vantagens e desvantagens do landfarming.....	103
<b>Quadro 10:</b> Vantagens e desvantagens da biorremediação.....	104
<b>Quadro 11:</b> Vantagens e desvantagens da fitorremediação.....	105
<b>Quadro 12:</b> Vantagens e desvantagens do co-processamento.....	107
<b>Quadro 13:</b> Vantagens e desvantagens do plasma.....	110
<b>Quadro 14:</b> Vantagens e desvantagens dos aterros industriais.....	118

# SUMÁRIO

	Pág.
<b>CAPÍTULO 1: Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1. Apresentação do problema.....	1
1.1.1. A definição do problema.....	2
1.2. Objetivos do trabalho.....	3
1.3. Justificativa do trabalho.....	3
1.4. Contribuição científica.....	4
1.5. Limites do trabalho.....	5
1.6. Metodologia.....	6
1.7. Revisão da literatura.....	10
1.7.1. Pressão social e a adequação ambiental das indústrias.....	12
1.7.2. A indústria do petróleo no contexto atual.....	18
1.7.3. Resíduos gerados nas refinarias.....	21
1.7.4. Tratamento e disposição final dos resíduos gerados nas refinarias.....	22
1.8. Estrutura do trabalho.....	23
<b>CAPÍTULO 2: A Indústria do petróleo: Foco no refino.....</b>	<b>24</b>
2.1. Definições, tipos e origem do petróleo.....	24
2.2. Síntese da operação da indústria do petróleo: O refino.....	26
2.3. O refino do petróleo e a produção por derivados.....	28
2.3.1. O parque de refino brasileiro.....	29
2.3.2. Etapas do refino do petróleo .....	30
2.3.2.1. Dessalinização.....	33
2.3.2.2. Separação.....	33
2.3.2.3. Conversão.....	35
2.3.2.4. Tratamento.....	37
2.3.2.5. Processos auxiliares de refino.....	38
2.4. Meio ambiente, indústria do petróleo e refino.....	41

2.4.1. Emissões atmosféricas.....	44
2.4.2. Efluentes líquidos.....	44
2.4.3. Resíduos sólidos.....	45
<b>CAPÍTULO 3: Caracterização e classificação de resíduos sólidos.....</b>	<b>46</b>
3.1. Caracterização dos resíduos sólidos.....	46
3.2. Resíduos Industriais.....	49
3.2.1. Caracterização dos resíduos industriais.....	49
3.2.2. Identificação e classificação dos resíduos industriais .....	50
3.3. Resíduos perigosos.....	53
3.3.1. Identificação, origem e caracterização dos resíduos perigosos.....	53
3.3.2. Classificação dos resíduos perigosos.....	57
3.3.3. Resíduos perigosos e seus efeitos nocivos à saúde humana.....	58
<b>CAPÍTULO 4: Gestão de resíduos perigosos nas refinarias de petróleo.....</b>	<b>60</b>
4.1. Geração e caracterização dos resíduos gerados nas refinarias.....	60
4.1.1. Os resíduos sólidos perigosos nas refinarias.....	63
4.1.1.1. Lama da dessalinização.....	67
4.1.1.2. Resíduos do coqueamento retardado.....	67
4.1.1.3. Catalisador exausto do craqueamento catalítico.....	68
4.1.1.4. Catalisador exausto do hidrocraqueamento catalítico e hidrotratamento	68
4.1.1.5. Resíduos da alquilação.....	68
4.1.1.6. Resíduos da isomerização.....	69
4.1.1.7. Catalisador exausto da reforma catalítica.....	70
4.1.1.8. Tanques de armazenamento – Lama de fundo.....	70
4.1.2. Geração de resíduos perigosos nos processos auxiliares de refino.....	71
4.1.2.1. Lama da estação de tratamento de efluentes.....	71
4.1.2.2. Lama dos trocadores de calor.....	72
4.1.2.3. Soda exausta.....	72
4.1.2.4. Resíduos de enxofre.....	72
4.1.3. Estimativa de geração de resíduos.....	73

4.2. Gestão dos resíduos gerados nas refinarias.....	74
4.2.1. Minimização de resíduos.....	81
4.2.1.1. Reciclagem.....	82
4.2.1.2. Reaproveitamento.....	82
4.2.1.3. Redução na fonte geradora.....	83
4.2.2. Programa de minimização de resíduos nas refinarias de petróleo.....	84
4.2.3. Logística reversa como ferramenta de gestão de resíduos nas refinarias.....	87
4.2.3.1. Logística reversa de pós-consumo.....	90
4.2.3.2. Reintegração dos resíduos ao ciclo produtivo.....	92
4.2.4.3. Objetivos econômicos, legais e ambientais da logística reversa.....	93
4.2.4.4. Potencialidades da logística reversa na gestão de resíduos.....	94
4.2.4. Tratamento e disposição final dos resíduos.....	95
4.2.4.1. Tratamento dos resíduos gerados nas refinarias.....	95
a) Estabilização e solidificação.....	96
b) Secagem e desidratação de lodos.....	97
c) Incineração.....	99
d) Landfarming.....	101
e) Biorremediação.....	103
f) Fitorremediação.....	105
g) Co-processamento.....	106
h) Plasma.....	108
4.2.4.2. Disposição final dos resíduos – Aterros industriais.....	110
<b>CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>119</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>125</b>



# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

***“O mundo começou sem o homem e acabará sem ele.”***

Claude Levi-Strauss

### 1.1. Apresentação do problema

O atual estágio de degradação ambiental exige todos os esforços em prol da minimização de impactos ambientais gerados, principalmente pela ação não sustentável e pouco sensível do homem. Para estimular a conscientização do homem com relação às questões ambientais é necessário entender a realidade que enfrentamos hoje, compreendendo a evolução da nossa sociedade até os padrões atuais de desenvolvimento, totalmente questionáveis.

Em um primeiro momento, a evolução técnico-científica causada pela Revolução Industrial do século XVIII fez com que a sociedade tivesse que gerir uma série de novas necessidades humanas. A utilização dos recursos naturais foi intensificada à medida que novos produtos e serviços eram criados e mais matéria-prima era necessária para alimentar os processos industriais.

Além da exploração não sustentável de seus recursos naturais, os ecossistemas passaram a receber resíduos em quantidades crescentes, inclusive com lançamento de novas substâncias sintetizadas pela indústria química que passaram a estar presentes no ar, solo, rios e mares em seus ciclos bioquímicos, desestabilizando seu equilíbrio natural.

A falta de conscientização da sociedade para questões ambientais está encaminhando o mundo para um colapso ambiental. Por mais que existam técnicas eficientes para a redução e controle da poluição, a situação global é preocupante, florestas ainda são derrubadas, solos e rios poluídos, as cidades não param de crescer e com elas, a queima de combustíveis fósseis, a poluição atmosférica interfere no clima global e inúmeras catástrofes ambientais vêm ocorrendo.

Sem dúvida, o maior combustível deste processo é o petróleo. O petróleo e seus derivados impulsionaram a industrialização, a possibilidade de desenvolvimento de novos mercados, o desenvolvimento urbano e o econômico para países dotados de tecnologia de exploração e produção de petróleo.

Apesar de muito onerosa e arriscada, a atividade tornou-se lucrativa para os países produtores e para os possuidores de grandes jazidas de óleo e de gás. Entretanto, como subproduto do desenvolvimento, grandes passivos sócio-ambientais a serem remediados e graves conflitos muitas vezes sem solução aparente.

Hoje, estudar questões ambientais é determinante para minimizar o caos ambiental que enfrentamos e enfrentaremos com maior intensidade em poucos anos. Precisamos começar a pôr em prática as premissas de um desenvolvimento sustentável. É de suma importância conscientizar a sociedade de nosso estágio ambiental, para que, coletivamente, nossas atitudes éticas prevaleçam em prol do meio ambiente.

#### 1.1.1. Definição do problema

Conhecer os modelos de gestão dos resíduos sólidos produzidos nas diversas etapas do refino do petróleo é de grande importância para a preservação ambiental, visto que, muitos destes resíduos possuem características potencialmente perigosas à saúde humana e ao meio ambiente, além de existir uma tendência mundial para o aumento da demanda e do consumo de derivados de petróleo nos próximos anos.

Geralmente estes resíduos possuem em sua composição substâncias tais como o arsênio, chumbo, mercúrio e enxofre, que caso venham a migrar para o solo, podem, além de contamina-lo, prejudicar a biota da área, atingir os lençóis freáticos, rios e lagos da região, agredindo diretamente ou indiretamente a saúde humana, fauna e flora do entorno, à custos ambientais, sociais e monetários muito altos.

Pensar em otimizar o sistema de gestão dos resíduos sólidos nas refinarias de petróleo pode ser visto não apenas como uma alternativa ambientalmente benéfica, fato que, por si só seria excelente, mas como oportunidade de geração de novos negócios para a indústria do petróleo, como os oriundos da reciclagem ou reutilização dos resíduos dentro da própria refinaria, ou até mesmo com a comercialização dos mesmos como insumos básicos para outras indústrias.



Porém, este não deve ser o enfoque principal de um sistema de gestão de resíduos, outras questões também devem ser avaliadas durante sua elaboração. Dentre elas, a conscientização ambiental através de conceitos práticos de ética e sustentabilidade fazem-se importantes para agregar valor não só financeiro aos processos e o controles ambientais da gestão.

## 1.2. Objetivos do trabalho

O objetivo ~~geral~~ do presente trabalho é conhecer as diferentes etapas de gestão dos resíduos sólidos perigosos gerados na atividade de refinarias de petróleo. Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Descrever os processos de produção de derivados de uma refinaria típica;
- Caracterizar a geração de resíduos sólidos perigosos em cada etapa do processo de refino;
- Abordar conceitos de gestão ambiental, sustentabilidade, ética e logística reversa com o objetivo de extrair todos os benefícios ambientais, sociais, legais e financeiros ainda embutidos no processo de gestão;
- Avaliar técnicas de tratamento e de destinação final destes resíduos, com foco nas condições brasileiras.

## 1.3. Justificativa do trabalho

A presente dissertação justifica-se face à problemática relação entre a indústria do petróleo e o meio ambiente, acompanhada do atual grau de dependência tecnológica de nossa sociedade desta Indústria e de seus produtos. Além deste fato, existe hoje, segundo estudo elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), uma tendência mundial para o aumento da demanda e do consumo de derivados de petróleo nos próximos anos.

Em tal contexto, analisar criticamente o gerenciamento dos resíduos sólidos das refinarias de petróleo com a intenção de extrair todos os possíveis benefícios

ambientais, sociais, legais e financeiros ainda embutidos nas diversas etapas de gestão e nos diversos resíduos gerados durante o processo de refino, em um sistema elaborado para ser eficiente, ambientalmente seguro, ético e se possível rentável representa uma contribuição para a mitigação dos problemas supra-citados.

Conhecer a maneira que os resíduos sólidos gerados pelo setor são geridos é de grande importância para a preservação ambiental devido às características potencialmente perigosas à saúde humana e ao meio ambiente. Estas características perigosas estão associadas à presença de elementos tais como o arsênio, chumbo, mercúrio e enxofre, em sua composição, que, caso venham a migrar para o solo, podem, além de contaminá-lo, prejudicar a biota e atingir os lençóis freáticos, rios e lagos da região, agredindo diretamente ou indiretamente a saúde humana, fauna e flora do entorno com altos custos ambientais, sociais e financeiros.

Desenvolver um estudo sobre a reincorporação dos diversos resíduos sólidos gerados nos processos de refino na cadeia produtiva ou no ciclo de negócios das refinarias de petróleo é relevante devido às características desses resíduos perigosos, à crescente demanda de derivados leves e médios no mundo, à possibilidade de reutilização destes resíduos e à necessidade de adequação as exigências das normas ambientais.

Os sedimentos dos tanques de armazenamento de petróleo cru e derivados, lamas, argilas e catalisadores, entre outros resíduos, podem conter substâncias potencialmente perigosas, que a determinadas concentrações, podem ser letais ao ser humano e prejudicial ao meio ambiente.

#### **1.4. Contribuição científica**

Após a coleta de dados durante a elaboração da presente dissertação, bem como revisão da literatura seguida de análise crítica feita sobre as informações apresentadas, pode-se concluir que o tema proposto está de acordo com as atuais necessidades técnicas e teóricas da questão relativa ao gerenciamento de resíduos, sendo que o resultado final poderá ser utilizado como fonte de consulta de

informações para gestores ambientais envolvidos com o refino do petróleo e com a gestão de resíduos sólidos perigosos.

Como mencionado anteriormente, existe hoje uma tendência mundial para o aumento da demanda de derivados leves e médios, logo uma tendência ao aumento do volume de resíduo a ser gerado e conseqüentemente tratado e disposto. Além disso, temos uma maior preocupação ambiental por parte das indústrias, empresas e governos, que nos próximos anos irão investir massivamente em modelos de gestão ambientalmente corretos. A ética ambiental e a responsabilidade social tendem a ganhar força no âmbito empresarial, com isso, a sociedade, o meio ambiente e as empresas tendem a ter seus conflitos amenizados e interesses equilibrados em prol da sustentabilidade.

Cabe frisar que, tanto a legislação ambiental internacional quanto a legislação nacional tendem a ficar cada vez mais restritivas, logo, a adequação ambiental da indústria do petróleo tenderá a ficar cada vez mais rígida, com padrões de qualidade e de proteção ambiental cada vez mais severos, exigindo adequações nas diversas etapas que envolvem a produção de derivados, seja na prospecção, exploração, refino, distribuição ou comercialização dos produtos.

Neste cenário, alternativas para unir os interesses da gestão dos resíduos, com a crescente consciência sócio-ambiental e de eco-eficiência das empresas e restrições legais e normativas vigentes tornam-se cada vez mais interessante.

## **1.5. Limites do trabalho**

A dissertação proposta não visa abordar todos os aspectos ambientais, econômicos ou legais dos sistemas de gestão de resíduos sólidos das refinarias de petróleo, mas, pretende-se que a mesma se constitua em um estudo técnico-teórico de alternativas para os atuais modelos de gestão de resíduos sólidos no setor, visando a otimização destes modelos, focando não somente as questões financeiras como também os aspectos éticos, legais e normativas acerca dos resíduos e das conseqüências ambientais da ineficiência dos modelos de gestão já existentes, visto que a indústria do petróleo demandará um aumento considerável na produção de derivados leves e médios nos próximos anos.

Por isso, a coletânea de informações aqui disponível apresenta tanto uma ótica gerencial quanto uma ótica ambiental.

## **1.6. Metodologia**

Para a elaboração da presente dissertação, foi executada uma intensa revisão bibliográfica, onde foram consultados livros, matérias de jornais e revistas especializadas, páginas da internet, notas de aula e apostilas de cursos, além de artigos técnicos, dissertações de mestrado e teses de doutorado. Dentro da lista de títulos consultados, há conteúdo nacional e internacional.

A pesquisa foi iniciada com a busca de informações acerca do refino do petróleo. Para tal, as palavras-chave utilizadas na pesquisa foram, petróleo, refino, refinarias brasileiras e derivados. Como o objetivo é estudar a gestão de resíduos perigosos em refinarias de petróleo, partiu-se da premissa de que é necessário conhecer o processo, a matéria prima e o produto final para melhor identificar, caracterizar e classificar os resíduos gerados. Através dos conceitos propostos por Cardoso (2006) e Szklo (2005) foi desenvolvido o significado do termo petróleo, abordada sua origem, sua atual importância sócio-econômica e seu potencial poluidor. De posse destas informações, passou-se para a pesquisa acerca do processo de refino.

Com base em Cardoso (2006), Szklo (2005), Mariano (2001) e informações extraídas do portal da ANP na internet a macro-operação do processo de refino foi compreendida, conceitos, definições, estatísticas, insumos, produtos, os processos de separação, conversão e tratamento do petróleo foram abordados. Compreendida a macro-operação, passou-se para a identificação das micro-operações que compõem o refino, diversas unidades que geram derivados foram identificadas e descritas, destilação atmosférica, destilação a vácuo, alquilação, coqueamento, craqueamento e etc. Com a intenção de melhor compreender o processo de refino foi elaborado, com base nas informações obtidas, um esquema hipotético de refino, sendo as unidades combinadas de maneira a caracterizar uma planta teórica de refino.

Caracterizado o petróleo e seu refino, partiu-se para a pesquisa acerca dos resíduos sólidos. As palavras-chave utilizadas nesta pesquisa foram resíduos, resíduos perigosos e gestão de resíduos. A NBR 10.004/2004 foi a principal fonte de pesquisa, com base nesta foram desenvolvidos conceitos acerca dos diversos tipos de resíduos, sua gestão, identificação e classificação. Identificados os diversos tipos de resíduos produzidos pela sociedade, foram aprofundados os conceitos acerca dos resíduos industriais, da periculosidade associada a este tipo de resíduo e sobre os efeitos deste na saúde humana e meio ambiente.

Com informações acerca das duas principais áreas de conhecimento que enredam o tema discutido nesta dissertação, o foco da pesquisa foi orientado para conceituar a gestão de resíduos nas refinarias. Para tal passou-se a pesquisar sobre as diferentes formas de geração e caracterização dos resíduos, perigosos ou não, resultantes do processo de refino. Com base na NBR 10.004/2004, em Mariano (2001) e em documentos técnicos obtidos dos órgãos ambientais do Estado, foram identificados os diversos resíduos gerados, bem como estimados seus volumes de geração.

Cada fonte de pesquisa organizou a listagem de seus resíduos de forma particular. Assim a presente pesquisa possui listagens dos resíduos perigosos gerados de acordo com as características físico-químicas, com as unidades de refino originárias e conforme exigido pelo Estado no Inventário de Resíduos. Em sua maioria os resíduos são lamas oleosas, sedimentos e borras oleosas, com características tóxicas.

Como o intuito desta pesquisa é abordar a gestão dos resíduos, partindo-se da premissa de que é necessário conhecer o processo, a matéria prima e o produto final para melhor identificar, caracterizar e classificar os resíduos gerados, a ótica que será adotada para o desenvolvimento das etapas seguintes de gestão será aquela que lista os resíduos de acordo com as unidades de refino, dentro de conceitos éticos, legais, ambientais, normativos e financeiros. Assim será possível organizar o fluxo de gestão de forma que todas as possibilidades gerenciais sejam avaliadas para cada resíduo, otimizando o modelo e a proteção ao meio ambiente.

Com os resíduos identificados e quantificados, é necessário partir para o desenvolvimento do modelo de gestão. Foram pesquisados os atuais conceitos que influenciam a gestão destes resíduos, dentre eles destacam-se a sustentabilidade e o “poluidor-pagador”, para então, baseado na NBR ISO 14.001, desenvolver

ferramentas gerenciais e pesquisar as práticas de gestão adotadas hoje nas refinarias de forma harmoniosa as atuais tendências. Com base nesta pesquisa, nas propostas da NBR ISO 10.004 e no manual de gerenciamento de resíduos da FIRJAN (2006), foi desenvolvido um fluxograma geral para a gestão dos resíduos gerados nas refinarias, neste, é possível visualizar as diferentes etapas de identificação, caracterização, classificação, minimização, tratamento e disposição final.

De posse deste fluxograma, foi necessário desenvolver, com base nas diversas bibliografias consultadas, os conceitos das diferentes etapas de minimização, tratamento e disposição final dos resíduos, caracterizando assim a possibilidade de criar um fluxo para a gestão dos diversos resíduos. Com relação à minimização, foi necessário abordar a reciclagem, a reutilização e a redução na fonte. Associado a estes conceitos, com a intenção de pesquisar uma nova tendência nos modelos gestão, achou-se interessante discutir a potencialidade da logística reversa como meio de revalorização dos resíduos.

Discutidas as possibilidades de minimização e revalorização destes resíduos, o foco da pesquisa foi orientado para as metodologias de tratamento e disposição final de resíduos, baseando-se na disponibilidade tecnológica atual do Brasil. Partiu-se da premissa que tratamento de resíduo é qualquer processo, técnica ou método que cause alterações físicas e/ou biológicas dos resíduos, reduzindo assim seu volume e periculosidade. Esta vertente de pensamento foi criada através do proposto pela Environmental Protection Agency (EPA) e por Ritter (2007). A busca por metodologias de tratamento foi adaptada aos diferentes tipos de resíduos gerados no processo de refino, por isso foi necessário buscar informações quanto a técnicas de estabilização e solidificação de resíduos, secagem e desidratação de lodos, landfarming, incineração, co-processamento e plasma, sendo avaliadas suas principais vantagens e desvantagens.

Com relação à disposição final dos resíduos, no Brasil, não há tecnologia melhor do que os aterros industriais para tal. Por isso buscou-se conhecer as diversas técnicas aplicadas ao confinamento seguro dos resíduos nos aterros, baseando-se principalmente nas diretrizes propostas pelo órgão ambiental do Estado do Rio de Janeiro para a construção de um.

Para que os objetivos descritos anteriormente fossem alcançados, cada um dos temas componentes da pesquisa foi analisado separadamente. Porém, houve

uma busca pela construção de uma linha de coesão e foco entre os objetos estudados. O intuito foi criar subsídios teóricos que evidenciassem a importância do conhecimento de cada um dos objetos na composição de um modelo de gestão de resíduos para as refinarias de petróleo.

Para o desenvolvimento da dissertação foi necessário o aprofundamento do conhecimento em três tópicos distintos de estudo, a saber:

1) Processo de refino e impactos sócio-ambientais da indústria do petróleo;

Para o desenvolvimento deste tópico, partiu-se dos conceitos e das definições sobre o petróleo e sobre a operação da indústria petrolífera, dando-se maior ênfase ao segmento *downstream*, especialmente às etapas de refino do petróleo, a produção de derivados e sua interação com o meio ambiente.

Para tal, foi elaborado, com base nas plantas de operação das refinarias existentes hoje no Brasil, um esquema hipotético de refino, onde fora possível avaliar linearmente a operação de uma refinaria, desde a estocagem do petróleo cru nos tanques de armazenamento até a estocagem dos produtos derivados. Para tal foi necessário conhecer etapa por etapa do processo de refino, suas diversas unidades, cargas de entrada e produtos de saída.

Concluindo este tópico, a pesquisa foi aprofundada na complexa relação entre meio ambiente, petróleo e o refino. Desta forma, foi apresentada a origem do potencial poluidor do petróleo e, de forma breve, os impactos ambientais no ar, solo e água do refino de petróleo.

2) Caracterização, classificação e gestão de resíduos perigosos;

O desenvolvimento deste tópico baseou-se integralmente nos conceitos oriundos da NBR 10004:2004 - Resíduos Sólidos, Classificação. Primeiramente, a partir dos conceitos extraídos da referida norma, partiu-se para a identificação e classificação dos resíduos sólidos gerados pela atividade humana. Feita esta classificação, fora aprofundada a pesquisa acerca dos resíduos sólidos industriais.

Conhecidas as características principais destes resíduos, passou-se para o desenvolvimento dos conceitos de periculosidade dos resíduos industriais. Desta forma, foram identificadas as características dos resíduos perigosos de acordo com a NBR 10004 e as principais ações deletérias destes sobre o meio ambiente e a saúde humana.

3) Geração, caracterização, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos perigosos nas refinarias.

Conhecido o processo de refino e as características gerais dos resíduos sólidos perigosos, foi iniciada a pesquisa sobre a geração destes nas múltiplas unidades que compõem o refino do petróleo. Utilizando o esquema hipotético de refino desenvolvido no primeiro tópico, foram identificadas e mapeadas as unidades que geram resíduos sólidos perigosos.

Conhecidos os resíduos e suas características de periculosidade, partiu-se para o desenvolvimento do conhecimento das práticas de gestão utilizadas para os mesmos. Em um primeiro momento foram apreciados os conceitos básicos desta gestão, compondo uma abordagem prática e simplificada da mesma, sendo avaliada, de forma preliminar, a importância do conceito de sustentabilidade na gestão de resíduos. Ainda nesta abordagem inicial, foram avaliadas estratégias de minimização de resíduos com base nos 3R's, destacando-se a aplicabilidade do conceito recente de logística reversa como ferramenta auxiliar de gestão.

Feito este estudo preliminar, foram pesquisadas algumas tecnologias disponíveis para o tratamento destes resíduos, dentre elas destacam-se a incineração, o co-processamento e o plasma. Com as informações obtidas na pesquisa, ficou claro que, mesmo com a adoção das diversas técnicas de tratamento, é necessário integrar no modelo de gestão, um local para a disposição final dos mesmos. Para tal, foi necessário pesquisar sobre os aterros industriais, sendo então apresentada, de acordo com a legislação e normatização vigente em nosso Estado, a estrutura básica de um.

## **1.7. Revisão da literatura**

A evolução técnico-científica de nossa sociedade é a grande responsável pelo caos ambiental que enfrentamos hoje. É obvio que existem benefícios com esta evolução, porém os custos devem ser considerados. Diamond (2005) aborda uma série de estudos de casos em seu livro "Colapso", dedicando-se ao seguinte questionamento central *"Por que algumas sociedades tomam decisões*



*desastrosas?”* Através de seus diversos estudos de caso, fica explícito que a adoção de determinados métodos ou a tomada de certas decisões podem desestruturar toda uma sociedade.

É um fato que, nossas escolhas presentes determinam nossa situação futura, e a natureza já vem suprindo muitas necessidades humanas, mesmo que por vezes estas sejam supérfluas e não se constituam em reais necessidades. A busca constante por recursos naturais, a queima de combustíveis fósseis, os processos industriais, a propaganda e o marketing, juntos movimentam uma máquina capitalista que vem degradando violentamente nossa fauna, flora e sociedade, o saber cuidar natural faz-se necessário.

Proporcional a esta evolução, são as agressões sofridas pela natureza, que tem sua continuidade interrompida pelas necessidades humanas. Segundo Peter Singer:

Uma floresta virgem é um produto de milhões de anos [...]. Se ela for derrubada, outra floresta pode crescer em seu lugar, mas a continuidade terá sido interrompida [...]. As vantagens decorrentes da derrubada da floresta – empregos, lucros comerciais, ganhos de exportação, papel e papelão mais baratos para as embalagens – são vantagens à curto prazo. (SINGER, 2006, p. 284.)

É sob a luz deste raciocínio que deve estar o foco de um sistema de gestão ambiental. É conhecida a capacidade da natureza de se regenerar, com ou sem a presença da espécie humana, mas quanto tempo será que a nossa espécie levará para perceber que a natureza pode viver sem ela, mas não o inverso? O descompasso entre homem e ambiente é determinante para o sucesso ou colapso da espécie humana.

Outro fato relevante nesta relação homem e natureza são as inúmeras catástrofes ambientais que ocorreram ocasionando grandes perdas, ainda que tais experiências tenham atuado em prol da aprendizagem humana. Independente da intencionalidade das ações, estas são degradantes ao meio, a defesa à natureza deve transcender à cultura antropocêntrica de nossa sociedade, por isso, pensar em ética ambiental faz-se necessário. Tal ética tem que ser prática, estar presente nas relações humanas, pensada nos processos produtivos, nas decisões gerenciais, na gestão dos resíduos e etc., o questionamento deve ser estimulado, para que gradualmente seja possível mensurarmos as proporções dos nossos hábitos cotidianos, do impacto destes no meio ambiente e dos inúmeros acidentes ambientais causados pela negligência social. Esta é a intenção da educação

ambiental: conscientizar a sociedade da necessidade de agir eticamente com relação ao meio ambiente, tirando o homem da posição antropocêntrica que ele mesmo se colocou, expandindo sua visão para além de suas necessidades.

Ao lado da ética individual, necessária a todos, existe atualmente uma ênfase sobre a responsabilidade social das empresas poluidoras. O Instituto Ethos define responsabilidade social empresarial como:

[...] uma forma de gestão que se define pela relação ética e transparente da empresa com todos os públicos com os quais ela se relaciona e pelo estabelecimento de metas empresariais compatíveis com o desenvolvimento sustentável da sociedade, preservando recursos ambientais e culturais para gerações futuras, respeitando a diversidade e promovendo a redução das desigualdades sociais (www.ethos.org.br).

Esta definição é a base para a adequação das empresas responsáveis social e ambientalmente, pois engloba todos os propósitos principais da responsabilidade social. A futura norma de Responsabilidade Social, ISO 26000, que está sendo elaborada com a liderança do Brasil e da Suécia, além da participação de 72 países e 35 organizações internacionais, dentre elas a Petrobrás e o Instituto Ethos, terá como temas centrais os direitos humanos, as práticas de trabalho, as questões relativas ao consumidor, o desenvolvimento sustentável, o meio ambiente, as práticas legais de operação e a governança organizacional. Dentro do tema meio ambiente, a norma irá abordar a prevenção da poluição, o uso sustentável de recursos, as mudanças climáticas, água, energia, o uso sustentável da terra e a conservação e restauração de ecossistemas e natureza.

Ou seja, a tendência é que, em um futuro muito próximo, as empresas e indústrias promovam a adequação crescente de seus modelos de gestão às diretrizes mencionadas na futura norma. Com isso, o meio ambiente deverá ter um maior destaque no planejamento estratégico das empresas, inserindo-se de forma mais profunda na cultura das empresas e influenciando mais as tomadas de decisão.

#### 1.7.1. Pressão social e a adequação ambiental das indústrias

A legislação brasileira começou a pautar a questão ambiental em 31 de agosto de 1981, quando foi sancionada a lei 6.938 que instituiu a Política Nacional de Meio Ambiente, que, de acordo com seu artigo 2º, têm por objetivo “[...] a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos

interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana [...]”  
(BRASIL. Política Nacional do Meio Ambiente. Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981, p. 785)

O meio ambiente entrou em destaque na nova constituição de 1988 através do artigo 225, que em seu texto sanciona:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. (BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, Brasília, DF: Senado, 1988, p. 138).

Segundo Silva e Nascimento (2007, p. 21):

O conceito de “meio ambiente” é uma construção social, a qual é dependente da percepção que cada um tem sobre ele, sendo portanto, um lócus onde os conflitos humanos se evidenciam em função de seus interesses individuais ou coletivos. É neste espaço onde se dão todas as relações que envolve os seres vivos, incluindo o homem, em permanente interação.(SILVA E NASCIMENTO, 2007, p. 21).

Para os autores, este conceito pode abranger o meio ambiente natural e o meio ambiente construído:

- **Meio ambiente natural:** Espaço que envolve todos os seres vivos, suas interações e entre si e suas interações com seu habitat, desenvolvendo as suas funções, tais como alimentação, reprodução e moradia (nicho ecológico), através de uma cadeia alimentar que se desenvolve dentro de um ecossistema.
- **Meio ambiente construído:** Espaço que envolve os bens, as obras e os acervos de valor paisagístico, histórico, artístico, turístico, religioso, arqueológico, etnográfico e cultural, os monumentos, o mobiliário urbano e as estruturas de edificações protegidas por lei.

A alteração do meio ambiente, natural ou construído, pode ser entendida como qualquer mudança, positiva ou negativa, que afete o funcionamento natural dos ecossistemas. Esta alteração pode ocorrer por meios naturais ou antropogênicos. Porém, não há como não atribuir maior grau de responsabilidade a espécie humana pelas excessivas alterações negativas do meio ambiente natural.

Assim, a exploração natural, a atividade industrial, a produção de energia dentre outras ações humanas, podem provocar a degradação do ambiente natural, prejudicando o funcionamento dos demais sistemas ambientais. Devido à importância desta relação, a NBR ISO 14001 define meio ambiente de forma

diferente da Lei 6.938 e de Silva e Nascimento, com uma ótica voltada para os grandes modificadores do ambiente, as organizações. Segundo a NBR ISO 14001 (2004, p. 2), meio ambiente é:

[...] a circunvizinhança em que uma organização opera, incluindo-se ar, água, solo, recursos naturais, flora, fauna, seres humanos e suas inter-relações, estendendo-se do interior de uma organização para o sistema global.(NBR ISO 14.001, 2004, p.2)

Do desequilíbrio desta relação entre homem e natureza surge a degradação da qualidade ambiental. A degradação da qualidade ambiental é qualquer alteração negativa das características naturais do meio ambiente. Poluição pode ser entendida, segundo a lei 6.938, como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) Prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) Criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) Afetem desfavoravelmente a biota;
- d) Afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) Lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Porém, a definição da presente lei, restringi-se somente a identificar o significado da palavra poluição através de seus efeitos diretos sobre o meio ambiente. Segundo Leriopio (2001, p. 11), o termo pode ter, além deste significado, um sentido mais específico, oriundo da complexa relação entre as necessidades da atividade industrial (empresarial) e a necessidade de proteção ao meio ambiente, conforme abaixo:

[...] a poluição industrial também pode ser vista como uma forma de desperdício e ineficiência dos processos produtivos e resíduos industriais representam, na maioria dos casos, perdas de matérias primas e insumos. (LERIPIO, 2001, p. 11)

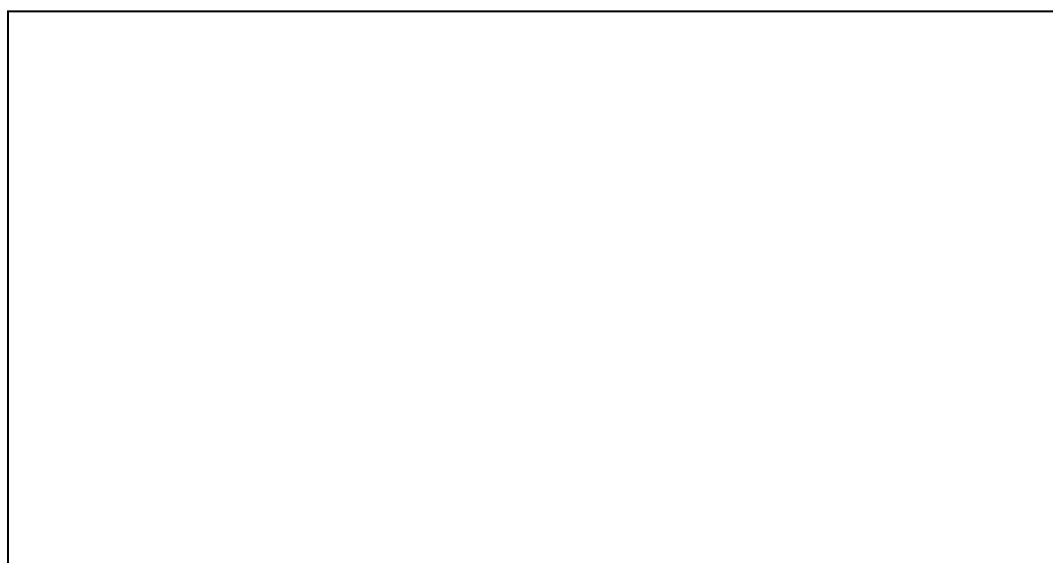
De maneira geral, todas e qualquer atividade industrial ou empresarial gera algum tipo de impacto negativo ao meio ambiente. Este impacto pode ser devido à geração de efluentes líquidos, a emissões atmosféricas e a geração de resíduos sólidos, ou simplesmente relativo ao não cumprimento da legislação ambiental. Em diversas situações, estas empresas não vislumbram suas próprias deficiências e dificuldades quanto à magnitude das questões ambientais que sua atividade deve administrar.

Hoje, a sociedade começa a exercer seus direitos e vem reconhecendo a importância da causa ambiental, logo, o começa a questionar e pressionar o empresariado, que por sua vez, começa a adequar sua produção, seus produtos e serviços a práticas menos nocivas ao meio ambiente. Paralelamente, as restrições legais aos poluidores estão cada vez maiores.

Assim, empresas começam a avaliar como afetam o meio ambiente e a identificar como podem ser afetadas pelo mesmo. Para avaliar como afetam o meio ambiente, as empresas elaboram estudos sobre o uso físico da área onde estão instalados, o uso de suas matérias-primas e seus insumos de produção, sobre o consumo de água, energia e combustíveis, sobre os resíduos gerados e suas características, sobre a emissão de poluentes e etc.

Já na identificação de como podem ser afetadas pelo meio ambiente, as empresas devem passar a ter um olhar mais cuidadoso quanto às exigências de seus clientes, fornecedores, órgãos ambientais e de instituições normativas, além de atentar-se para a possível escassez de suas matérias-primas e insumos, para os custos com o controle ambiental e para as pressões externas que pode sofrer.

Segundo Leripio (2001, p.12), a figura 01 abaixo exemplifica algumas das pressões que atuam sobre as empresas, sendo elas perceptíveis ou não perceptíveis. As pressões perceptíveis são aquelas que afetam diretamente as empresas e por isso são tratadas como prioridades, integrando sua estratégia de ação. Já as pressões não perceptíveis são aquelas que, embora afetem diretamente a empresa, não são tratadas como prioridade.



**Figura 01:** Principais pressões existentes sobre as empresas. *Adaptado de Leripio (2001, p. 12)*

Muitas empresas, cientes das pressões as quais estão submetidas e conscientes de que não sobreviveriam por muito tempo em um mercado globalizado, começaram a desenvolver sua produção de forma sustentável.

O termo sustentabilidade pode ser entendido como a característica de um processo ou de um estado que pode ser mantido de um certo modo indefinidamente. Quando utilizado com conotação ambiental, o termo está relacionado a longevidade e a qualidade de vida da espécie humana e de todos os sistemas, ecológicos ou antropogênicos, utilizados como suporte à sua existência.

Este conceito abrange ideias, aspirações e valores que estimulem pessoas e empresas a se tornarem mais sensíveis às questões ambientais, sem o interesse de coibir o desenvolvimento sócio-econômico, mas sim afina-lo às questões ambientais. Por isso, os princípios de sustentabilidade podem estimular inovações tecnológicas e a competitividade, além de aumentar a qualidade de vida no planeta.

Para Alledi (2003, sl. 19), a sustentabilidade surge no equilíbrio entre a utilização dos recursos ambientais, sociais e econômicos de uma atividade, conforme ilustrado na figura 02 abaixo. Este equilíbrio é atingido através do julgamento justo e ético durante a mediação de conflitos existentes entre as inter-relações dos recursos. É necessário pensar éticamente para avaliar a viabilidade ambiental, social e econômica de uma atividade.



**Figura 02:** Sustentabilidade, o ponto de equilíbrio da utilização de recursos ambientais, sociais e econômicos. *Adaptado de Alledi, 2003, sl. 19)*

O Desenvolvimento Sustentável (DS) preconiza esta relação ética entre empresa, sociedade e meio ambiente. O conceito de DS foi desenvolvido durante as discussões para a elaboração do Relatório de Brundtland em 1987, onde, teve como seu primeiro significado "satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as futuras gerações satisfazerem suas próprias necessidades". (BRAGA, 2006, p. 216).

Segundo Silva e Nascimento (2007, p. 34) o conceito de DS deriva do conceito de ecodesenvolvimento proposto em 1972 por Maurice Strong e Ignacy Sachs, durante a primeira Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento em Estocolmo, sendo definido como:

[...] um processo criativo de transformação do meio com a ajuda de técnicas ecologicamente prudentes, concebidas em função das potencialidades deste meio, impedindo o desperdício inconsiderado dos recursos, e cuidando para que estes sejam empregados na satisfação das necessidades de todos os membros da sociedade, dada a diversidade dos meios naturais e dos contextos culturais. (SILVA E NASCIMENTO, 2007, p. 34).

Porém, somente durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano (CNUMAD), realizada no Rio de Janeiro em 1992 (ECO-92) é que o conceito de DS foi afirmado como princípio, meta e compromisso mundial. O motivo para tal foi o desenvolvimento de um plano de ação global, a Agenda 21, considerado como a maior tentativa e articulação política em prol do estímulo ao DS, contando com a contribuição de integrantes de governos e de instituições sociais de 179 países.

Segundo Muller (2005, p. 02) a preocupação do novo consumidor brasileiro, começando a se importar com as causas ambientais, é refletida nas indústrias e empresas, diretamente responsáveis pela geração dos resíduos. Para Diamond (2005, p. 528) podem haver alguns sérios conflitos de interesse nesta nova relação consumidor x empresas:

[...] aquilo que rende dinheiro para uma empresa, ao menos à curto prazo, pode ser nocivo para a sociedade como um todo, assim, o comportamento das empresas torna-se um exemplo em grande escala de comportamento racional de parte de um grupo, podendo ser traduzido em uma tomada de decisão desastrosa para a sociedade (DIAMOND, 2005, p. 528).

Atualmente, a consciência ambiental crescente por parte da sociedade vêm representando um risco para os negócios das grandes empresas que não desenvolvem um perfil ambientalmente correto, pois a imagem das mesmas fica a mercê dos acidentes ambientais que elas causam, sendo este provavelmente o

principal motivo pelo qual às grandes empresas começaram a ter postura mais sensível para as questões ambientais. Grandes empresas internacionais do ramo petrolífero como a Chevron e a Petrobrás, “[...] deram-se conta de que, gastando a cada ano alguns poucos milhões de dólares extras em um projeto, ou mesmo algumas dezenas de milhões de dólares, economizariam dinheiro à longo prazo, minimizando o risco de perder bilhões de dólares em um acidente, ou ter todo um projeto embargado e perder o investimento feito [...]” (DIAMOND, 2005, p. 533) devido principalmente ao aumento da rigidez das novas legislações ambientais.

A legislação brasileira começou a pautar a questão ambiental em 31 de agosto de 1981, quando foi sancionada a lei 6.938 que instituiu a Política Nacional de Meio Ambiente, que, de acordo com seu artigo 2º, têm por objetivo “[...] a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana [...]” (BRASIL. Política Nacional do Meio Ambiente. Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981, p. 785).

O meio ambiente entrou em destaque na nova constituição de 1988 através do artigo 225, que em seu texto sanciona:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. (BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, Brasília, DF: Senado, 1988, p. 138).

Hoje, a valorização da questão ambiental deixou de ser apenas uma tendência teórica ou uma temática jurídica. A sociedade começa a exercer seus direitos e vem reconhecendo a importância da causa, por isso começa a questionar a atitude do poluidor, seja ele um cidadão ou uma empresa.

Logo, o questionamento social começa a pressionar o empresariado, que por sua vez, começa a adequar sua produção, seus produtos e serviços a práticas menos nocivas ao meio ambiente. Paralelamente, as restrições legais aos poluidores estão cada vez maiores.

Assim, empresas começam a avaliar como afetam o meio ambiente e a identificar como podem ser afetadas pelo mesmo. Para avaliar como afetam o meio ambiente, as empresas elaboram estudos sobre o uso físico da área onde estão instalados, o uso de suas matérias primas e seus insumos de produção, sobre o



consumo de água, energia e combustíveis, sobre os resíduos gerados e suas características, sobre a emissão de poluentes e etc.

Já na identificação de como podem ser afetadas pelo meio ambiente, as empresas devem passar a ter um olhar mais cuidadoso quanto às exigências de seus clientes, fornecedores, órgãos ambientais e de instituições normativas, além de atentar-se para a possível escassez de suas matérias-primas e insumos, para os custos com o controle ambiental e para as pressões externas que pode sofrer.

Segundo Leripio (2001, p.12), a figura abaixo exemplifica algumas das pressões que atuam sobre as empresas, sendo elas perceptíveis ou não perceptíveis. As pressões perceptíveis são aquelas que afetam diretamente as empresas e por isso são tratadas como prioridades, integrando sua estratégia de ação. Já as pressões não perceptíveis são aquelas que, embora afetem diretamente a empresa, não são tratadas como prioridade.



**Figura 01:** Principais pressões existentes sobre as empresas. *Adaptado de Leripio (2001, p. 12)*

Muitas empresas, cientes das pressões as quais estão submetidas e conscientes de que não sobreviveriam por muito tempo em um mercado globalizado, começaram a desenvolver sua produção de forma sustentável.

O termo sustentabilidade pode ser entendido como a característica de um processo ou de um estado que pode ser mantido de um certo modo indefinidamente. Quando utilizado com conotação ambiental, o termo está relacionado a longevidade

e a qualidade de vida da espécie humana e de todos os sistemas, ecológicos ou antropogênicos, utilizados como suporte à sua existência.

Este conceito abrange ideias, aspirações e valores que estimulem pessoas e empresas a se tornarem mais sensíveis às questões ambientais, sem o interesse de coibir o desenvolvimento sócio-econômico, mas sim afiná-lo às questões ambientais. Por isso, os princípios de sustentabilidade podem estimular inovações tecnológicas e a competitividade, além de aumentar a qualidade de vida no planeta.

Para Alledi (2003, sl. 19), a sustentabilidade surge no equilíbrio entre a utilização dos recursos ambientais, sociais e econômicos de uma atividade. Este equilíbrio é atingido através do julgamento justo e ético durante a mediação de conflitos existentes entre as inter-relações dos recursos. É necessário pensar éticamente para avaliar a viabilidade ambiental, social e econômica de uma atividade.



**Figura 02:** Sustentabilidade, o ponto de equilíbrio da utilização de recursos ambientais, sociais e econômicos. *Adaptado de Alledi, 2003, sl. 19)*

O Desenvolvimento Sustentável (DS) preconiza esta relação ética entre empresa, sociedade e meio ambiente. O conceito de DS foi desenvolvido durante as discussões para a elaboração do Relatório de Brundtland em 1987, onde, teve como seu primeiro significado "satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as futuras gerações satisfazerem suas próprias necessidades" (BRAGA, 2006, p. 216).

Segundo Silva e Nascimento (2007, p. 34) o conceito de DS deriva do conceito de ecodesenvolvimento proposto em 1972 por Maurice Strong e Ignacy Sachs, durante a primeira Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento em Estocolmo, sendo definido como:

[...] um processo criativo de transformação do meio com a ajuda de técnicas ecologicamente prudentes, concebidas em função das potencialidades deste meio, impedindo o desperdício inconsiderado dos recursos, e cuidando para que estes sejam empregados na satisfação das necessidades de todos os membros da sociedade, dada a diversidade dos meios naturais e dos contextos culturais. (SILVA E NASCIMENTO, 2007, p. 34)

Porém, somente durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano (CNUMAD), realizada no Rio de Janeiro em 1992 (ECO 92) é que o conceito de DS foi afirmado como princípio, meta e compromisso mundial. O motivo para tal foi o desenvolvimento de um plano de ação global, a Agenda 21, considerado como a maior tentativa e articulação política em prol do estímulo ao DS, contando com a contribuição de integrantes de governos e de instituições sociais de 179 países.

Segundo Muller (2005, p. 02) a preocupação do novo consumidor brasileiro, começando a se importar com as causas ambientais, é refletida nas indústrias e empresas, diretamente responsáveis pela geração dos resíduos. Para Diamond (2005, p. 528) podem haver alguns sérios conflitos de interesse nesta nova relação consumidor x empresas:-

[...] aquilo que rende dinheiro para uma empresa, ao menos à curto prazo, pode ser nocivo para a sociedade como um todo, assim, o comportamento das empresas torna-se um exemplo em grande escala de comportamento racional de parte de um grupo, podendo ser traduzido em uma tomada de decisão desastrosa para a sociedade (DIAMOND, 2005, p. 528).

Atualmente, a consciência ambiental crescente por parte da sociedade vêm representando um risco para os negócios das grandes empresas que não desenvolvem um perfil ambientalmente correto, pois a imagem das mesmas fica a mercê dos acidentes ambientais que elas causam, sendo este provavelmente o principal motivo pelo qual às grandes empresas começaram a ter postura mais sensível para as questões ambientais. Grandes empresas internacionais do ramo petrolífero como a Chevron e a Petrobrás, “[...] deram-se conta de que, gastando a cada ano alguns poucos milhões de dólares extras em um projeto, ou mesmo algumas dezenas de milhões de dólares, economizariam dinheiro à longo prazo, minimizando o risco de perder bilhões de dólares em um acidente, ou ter todo um

~~projeto embargado e perder o investimento feito [...]” (DIAMOND, 2005, p. 533) devido principalmente ao aumento da rigidez das novas legislações ambientais.~~

### 1.7.2. A indústria do petróleo no contexto atual

A Agência Nacional do Petróleo (ANP) define petróleo como sendo:

[...] uma mistura de hidrocarbonetos composta de diversos tipos de moléculas formadas por átomos de hidrogênio e carbono e, em menor parte, de oxigênio, nitrogênio e enxofre, combinados de forma variável, conferindo características diferenciadas aos diversos tipos de crus encontrados na natureza (<http://www.anp.gov.br>).

Porém, devido à atual geopolítica do petróleo e ao eminente colapso ambiental global, a definição dada pela ANP não é mais suficiente para definir o seu real significado. Hoje pode-se dizer que o petróleo está além de suas características físicas ou químicas e sua importância econômica transcende fronteiras, causa discórdia e guerras sendo o mesmo considerado como um dos principais símbolos de poder do mundo capitalista em que vivemos (CARDOSO, 2006, p.1).

Devido à atual importância do petróleo na economia mundial, é necessário compreender as diversas etapas de operação da sua indústria e seus objetivos estratégicos, bem como do seu enorme potencial poluidor, desde a sua exploração à comercialização dos derivados, tanto historicamente quanto contemporaneamente. Avaliar a problemática sócio-ambiental que enfrentamos hoje e enfrentaremos de forma ainda mais intensa nas próximas décadas, devido às mudanças que estão ocorrendo na indústria do petróleo, faz-se necessário para mensurar a sustentabilidade desta complexa indústria e as catástrofes ambientais que pode causar.

Definir os conceitos de reserva e recurso de petróleo faz-se importante para a compreensão desta atual geopolítica mundial. Segundo o Plano Nacional de Energia 2030, do Ministério das Minas e Energia do Brasil, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2006), as reservas de petróleo estão relacionadas à quantidade remanescente na jazida recuperável economicamente, com condições tecnológicas disponíveis no momento de sua avaliação. Já os recursos incluem tanto as reservas quanto o potencial relacionado ao volume estimado recuperável a partir de jazidas não descobertas inferidas geologicamente.

No ano de 2006, segundo dado da British Petroleum (BP), as reservas estavam concentradas no Oriente Médio, com 61% do total mundial, em especial na Arábia Saudita com uma reserva aproximada de 264 bilhões de barris. Segundo a BP (2006) as reservas mundiais atuais estão no entorno de 1,2 trilhões de barris. Com relação à produção, ainda segundo dados da BP (2006), a Arábia Saudita lidera o ranking dos maiores produtores do mundo com cerca de 11 milhões de barris por dia, seguida da Rússia com 9,6 milhões e dos Estados Unidos com 6,8 milhões, sendo o total da produção mundial 81,2 milhões de barris diários, com a previsão de aumento para 118 milhões por dia em 2030 segundo a Environmental Investigation Agency (EIA, 2006), não ocorrendo o pico de produção antes de 2030.

Os Estados Unidos demandam cerca de 25 milhões de barris de petróleo por dia para sustentar suas indústrias, seus meios de transportes, suas usinas geradoras de eletricidade, seu comércio e suas residências, porém, possui apenas uma capacidade de processamento interno de cerca de 21 milhões de barris diários.

Com relação ao cenário da América do Sul e Central, estas demandam juntas uma quantidade cinco vezes inferior a norte americana: cerca de 5 milhões de barris por dia, com capacidade de processamento de 8 milhões de barris por dia (BP, 2006).

Os produtos derivados do petróleo cru são processados em instalações industriais (refinarias de petróleo) que, dependendo da sua capacidade, podem operar e produzir uma gama extensa de produtos a partir de seus insumos principais, gás natural e petróleo cru. Na indústria, convencionam-se produtos de primeira geração aqueles que advêm das refinarias de petróleo, compreendendo todos os combustíveis e a matéria-prima das instalações petroquímicas básicas, principalmente a nafta, que é processada industrialmente para a produção dos produtos de segunda geração, as resinas termoplásticas, que por sua vez são insumos para a fabricação dos produtos de terceira geração, utilizados na indústria de transformação, onde os polímeros serão produzidos, dentre eles o policloreto de vinila (PVC) e o polietileno tereftalado (PET). A partir destes polímeros, surgem às indústrias de transformação de plásticos, produzindo uma infinidade de produtos que levam integralmente ou parcialmente componentes plásticos, tais como carros, celulares, roupas e etc. Grande parte dos produtos comercializados hoje tem pelo menos uma pequena parcela do óleo cru prospectado no início da cadeia produtiva da indústria do petróleo.

O aumento da demanda de derivados leves e médios, tais como a gasolina e o diesel, é uma tendência mundial de expansão do consumo de derivados de petróleo, devido basicamente ao crescimento do setor de transportes (EPE 2006). Assim como o aumento da demanda de derivados leves e médios, temos como tendência mundial o processamento de petróleo mais pesado e com maior teor de enxofre e as modificações nas especificações dos combustíveis de modo a atender as regulamentações ambientais que vem ficando cada vez mais restritivas (EPE, 2006).

Especificamente sobre a situação brasileira na indústria do petróleo e derivados, vemos um cenário em franca expansão. O Brasil detém apenas 1% das reservas mundiais de petróleo (ANP, 2006) e um parque de refino composto por treze unidades produtoras de derivados, concentradas nas regiões sul e sudeste do país. As refinarias brasileiras não foram projetadas para processar óleo nacional, mais denso, por isso, desde a auto-suficiência e do maior rigor internacional com a qualidade dos derivados, as refinarias nacionais vem investindo em adequações para obter maiores e melhores frações de derivados leves e médios.

O óleo diesel é o derivado mais produzido e mais consumido do país, seguido da gasolina e do óleo combustível. A grande produção e consumo de óleo diesel e gasolina resultam da imensa malha rodoviária do país que o setor de transportes deve cobrir, sendo que cerca de 50% da demanda de derivados no país advém deste setor (EPE, 2006).

Segundo o Plano Nacional de Energia 2030, na pesquisa feita pelo EPE (2006), ficou claro que, as tendências brasileiras na produção de derivados não são muito diferentes das mundiais. O óleo nacional tende a entrar com maior expressão no parque de refino brasileiro. Os produtos derivados nacionais tendem a sofrer alterações em suas especificações em vista do aumento da rigidez da regulamentação ambiental mundial. A estrutura de consumo também tende a ser alterada, devido ao aumento na demanda por derivados leves e médios (gasolina, diesel e GLP) e a conseqüente redução na demand

Com o aumento previsto na demanda mundial de derivados, é um fato que, se mantidas as tecnologias atuais, um maior volume de resíduos sólidos será gerado durante o refino do petróleo. Pelo fato destes resíduos apresentarem características potencialmente perigosas e seu volume tender a aumentar nos próximos anos, avaliar seus modelos de gestão com vistas ao aumento da eco-eficiência (eficiência

ecológica e econômica) na atividade se faz necessário para a preservação ambiental. Os maiores riscos ambientais associados a estes resíduos estão na possibilidade migrarem para o solo, podendo contaminá-lo e atingir os corpos hídricos tanto subterrâneos quanto superficiais, ou entrarem em contato com seres vivos através das diferentes vias de ingestão (cadeia alimentar), contato e inalação. A periculosidade destes resíduos é devida as substâncias químicas presentes em sua composição, tais como o arsênio, chumbo, mercúrio, enxofre, hidrocarbonetos aromáticos, poliaromáticos e não aromáticos, amônia, metais pesados em geral e óleo (MARIANO, 2001, p. 125), que segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) podem apresentar características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade. Alguns hidrocarbonetos policíclicos aromáticos apresentam adicionalmente natureza carcinogênica e mutagênica.

Nesse contexto, é importante identificar os diversos resíduos sólidos gerados durante o processo de refino, bem como suas origens, suas características físico-químicas e seus respectivos potenciais poluidores.

### 1.7.3. Resíduos gerados em refinarias

Segundo Mariano (2001, p. 125), os principais resíduos gerados nas refinarias são: “[...] a lama dos separadores de água e óleo, a lama dos flutuadores ar, os sedimentos do fundo dos tanques de armazenamento do petróleo cru e derivados, as borras oleosas, as argilas de tratamento, as lamas biológicas, além de sólidos emulsionados em óleo”. Estes resíduos podem variar significativamente quanto as suas características físico-químicas, tóxicas e seu efetivo potencial poluidor.

O potencial poluidor destes resíduos, está relacionado ao tipo de petróleo processado na refinaria, aos derivados produzidos e aos processos que geraram os mesmos. Devido às características suas perigosas, a disposição inadequada destes resíduos pode desencadear uma seqüência de problemas ambientais, além da migração dos componentes perigosos através do solo e água subterrânea, tais como, aspecto estético desagradável; maus odores; liberação de gases tóxicos e poluição do ar. Estes resíduos podem ainda causar alterações nas características químicas do solo agredindo fauna e flora da região do impacto, bem como restringir o uso agrícola do solo e afetar as fundações das construções existentes na região (MARIANO, 2005, p.148 e 151).

Para evitar ou mitigar os problemas ambientais associados às características potencialmente perigosas dos resíduos sólidos das refinarias de petróleo, deve-se estudar o tratamento e a destinação final adequada para cada tipo de resíduo. As características físico-químicas e as concentrações de poluentes podem variar bastante de resíduo para resíduo, podendo assim inviabilizar o tratamento e a destinação final conjunta dos mesmos, mesmo que estas diferenças sejam muito sutis.

Outros fatores problemáticos para as refinarias na gestão destes resíduos são as legislações ambientais e a verba alocada para o tratamento e a destinação final dos resíduos. Em geral, como as empresas trabalham com foco nos orçamentos, gerir estes resíduos é considerado dispendioso e não traz retorno financeiro, por isso, por muitas vezes, a adoção de estratégias de destinação é influenciada por questões financeiras, bem como pela legislação vigente, que atualmente tende a ser rígida mas sem a presença de um sistema de fiscalização eficaz, sendo estes fatores determinantes para a adoção do tipo de tratamento e destinação final a ser dada ao resíduo.

#### 1.7.4 Tratamento e disposição final dos resíduos gerados em refinaria

Para a Environmental Protection Agency (EPA), tratamento de um resíduo perigoso compreende *“[...] qualquer método, técnica ou processo que provoque mudanças de caráter físico ou biológico da composição desse resíduo, transformando-o em resíduo não perigoso, seguro para o transporte, adequado para reutilização, armazenamento, ou que lhe reduza o volume”*. Segundo Mariano (2001, p. 153) o tratamento destes resíduos pode ocorrer de quatro formas distintas;

1. Através da conversão dos constituintes agressivos presentes nos resíduos em formas menos perigosas ou solúveis;
2. Através da destruição química dos produtos indesejáveis;
3. Através da separação, dos constituintes perigosos, com a conseqüente redução do volume a ser disposto;
4. Através da alteração da estrutura química de determinados produtos, tornando mais fácil a sua assimilação ambiental.

Tais processos podem ocorrer por métodos físicos, térmicos, químicos ou biológicos. Com relação à destinação final, a alternativa mais empregada em nosso



país é o envio dos resíduos, muitas vezes a te sem tratamento, para os aterros industriais.

## **1.8. Estrutura do trabalho**

O presente capítulo é o capítulo 1 da dissertação e apresenta uma breve introdução sobre o tema que será abordado nos demais capítulos e a metodologia utilizada para a elaboração da pesquisa.

O capítulo 2 têm por objetivo abordar conceitos e definições sobre o petróleo e sobre a operação da indústria petrolífera, dando maior ênfase ao downstream, especialmente às etapas de refino do petróleo, a produção de derivados e sua interação com o meio ambiente.

O capítulo 3 apresenta um estudo geral sobre a caracterização e a classificação dos resíduos sólidos, atendo-se apenas ao desenvolvimento dos conceitos acerca dos resíduos industriais perigosos e seus efeitos nocivos à saúde humana.

O capítulo 4 desenvolve os conceitos acerca da geração, caracterização e gestão dos resíduos sólidos perigosos gerados nas refinarias. O intuito principal deste último capítulo é apresentar algumas práticas de gestão dos resíduos, integrando tecnologias de tratamento e de disposição final. Para tal, são apresentadas algumas premissas e conceitos de gestão ambiental, atendo-se a discorrer sobre a complexa relação entre a atividade humana, o meio ambiente e a sustentabilidade. A exploração destes conceitos objetiva evidenciar que a adoção de práticas de tratamento e destinação final de forma ética, valorizando a importância da questão sócio-ambiental e do desenvolvimento sustentável, são indispensáveis para compor um eficiente modelo de gestão para os resíduos sólidos gerados nas refinarias de petróleo.

## **CAPITULO 2**

### **A INDÚSTRIA DO PETRÓLEO: FOCO NO REFINO**

***“Ainda que a expulsões com um forçado, a natureza voltará a aparecer.”***

## 2.1. Definições, tipos e origem do petróleo

A palavra petróleo advém do latim *petrus*, que significa pedra e *oleum*, que significa óleo. No seu sentido literal, de acordo com o dicionário Aurélio, petróleo é uma substância oleosa, inflamável, geralmente menos densa que a água, com cheiro característico e coloração que pode variar desde o incolor ou castanho claro até o preto, passando por verde e marrom (castanho).

O petróleo é um recurso mineral, de origem orgânica, formado por uma grande mistura de compostos, principalmente hidrocarbonetos (alifáticos, alicíclicos e aromáticos). Pequenas quantidades de outras substâncias também estão presentes no petróleo cru, sendo estas denominadas de impurezas.

Segundo Cardoso (2006, p. 20) é comum classificar os óleos em classes específicas, em função de seus constituintes, aspectos geológicos e tipos de produtos que possam produzir. Desta forma, temos as seguintes classes de petróleo:

1. Parafínica: Óleos com baixa viscosidade e características de fluidez e leveza.
2. Parafínico – naftênica: Os óleos com densidade e viscosidade superiores à classe parafínica, possuindo baixo teor de enxofre.
3. Naftênica: Óleos que apresentam propriedades mescladas entre a classe parafínica e a parafínico-naftênica; possuem baixo teor de enxofre.
4. Aromática: Óleos de elevada densidade por possuírem até 30% de asfaltenos em sua estrutura, caracterizando-se como óleos pesados.

Hoje, já é admitido que a origem das substâncias que compõe o petróleo esteja relacionada à decomposição de seres vivos integrantes do plâncton (organismos em suspensão nas águas doces ou salgadas), tais como protozoários e celenterados, estimulada pela falta de oxigenação e pela atividade bacteriana.

Ao longo de milhões de anos, estes seres foram decompostos e os produtos da decomposição foram depositados no fundo oceanos, mares e lagos. A pressão

da lâmina d'água, somada às pressões exercidas pelos movimentos da crosta terrestre criaram condições físicas e químicas ideais para transformar este material em uma substância oleosa, o petróleo.

A conversão de matéria orgânica em petróleo pode ser dividida em três etapas distintas:

#### 1º Etapa: Diagênese:

Logo após a deposição da matéria orgânica, tem início a decomposição bioquímica, gerando o gás metano. Com o aumento da pressão e da temperatura, a matéria orgânica é convertida em querogeno, um composto de matéria orgânica sem forma definida constituído apenas por carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O);

#### 2º Etapa: Catagênese:

Com o aumento da pressão, o querogeno é modificado, formando o óleo cru. Nessa fase, as moléculas de estruturas maiores serão divididas em moléculas menores e mais simples.

#### 3º Etapa Metagênese:

Esta é a etapa final de formação do querogeno e do petróleo cru, sendo também produzido o gás natural.

O petróleo é um mineral que raramente permanece no local onde fora gerado, ou seja, em sua rocha matriz. Geralmente, tende a fluir por gravidade, diferença de pressão, capilaridade ou densidade para áreas onde possa acumular. Estas áreas são conhecidas como bacias sedimentares e, normalmente, são compostas por camadas ou lençóis porosos de areia, arenitos ou calcários. Através de interações físico-químicas com o ambiente, o petróleo tende a preencher estes poros rochosos, acumulando-se e formando jazidas.

Nestas jazidas encontra-se, além do petróleo, o gás natural, que, por possuir menor estrutura química, tende a ser mais leve e ficar na parte superior das jazidas. Além do petróleo e do gás natural, a água também está presente em volumes representativos, tendendo a ficar na parte inferior da jazida.

Como visto, o petróleo é uma mistura complexa de diversos compostos, no entanto, não existem dois petróleos idênticos no mundo. Sendo assim, as diferenças

influenciam no rendimento e na qualidade das frações de derivados que serão obtidas.

É sabido que o objetivo final da exploração, produção e refino do petróleo é a comercialização dos seus produtos derivados. Por isso, as refinarias já adquirem petróleos dentro de determinadas especificações, compatíveis com a tecnologia e a capacidade de produção instalada, de forma que o rendimento e a qualidade do produto sejam otimizados e adequados ao mercado consumidor da área de influência da mesma.

## **2.2. Síntese da operação da indústria do petróleo – O refino**

Como visto, a produção de petróleo é uma atividade de negócios vital para a economia global. De forma resumida, a indústria do petróleo divide-se em dois segmentos distintos, porém interdependentes, sendo eles o *upstream* e o *downstream*.

O *upstream* reúne as atividades de exploração, prospecção e produção de petróleo. A exploração é o estudo das possíveis áreas de prospecção e produção, compreende principalmente a geofísica e as avaliações geológicas preliminares da região, estas que indicarão ou não a possibilidade de presença de óleo e em quais condições. A prospecção é caracterizada por observações de campo, medições com instrumentos sofisticados e a interpretação de dados. O intuito é obter informações sobre a composição dos horizontes do subsolo da região, porém não há perfuração de poços. Já a produção envolve a engenharia de poços, o estudo de reservas e reservatórios, os processo de produção e o desenvolvimento da produção.

O *downstream* envolve as atividades logísticas de escoamento do petróleo e do gás natural, o refino e as atividades logísticas de abastecimento de produtos derivados. A logística de escoamento ocorre por meio de dutos (gasodutos e oleodutos) e navios de grande porte. O objetivo é encaminhar o óleo prospectado nas plataformas de produção para as refinarias de petróleo. A viabilidade desta atividade esta relacionada à distância entre a área de produção e as refinarias, bem como das refinarias para o mercado consumidor.

Segundo a Agência Nacional do Petróleo (ANP):

O refino de petróleo é, basicamente, um conjunto de processos físicos e químicos que objetivam a transformação dessa matéria-prima em derivados. Ele começa pela destilação atmosférica, que consiste no fracionamento do óleo cru a ser processado em toda e qualquer refinaria. Tal operação é realizada em colunas de fracionamento, de dimensões variadas, que possuem vários estágios de separação, um para cada fração desejada. (<http://www.anp.gov.br>).

De acordo com o estágio de separação do petróleo, e da capacidade operacional da refinaria, são produzidos diversos tipos de derivados a serem encaminhados diretamente para o mercado consumidor, tais como a gasolina, o diesel, o querosene, etc, ou para a indústria petroquímica para serem transformados em produtos de primeira, segunda ou terceira geração. Assim, pode-se dizer que o refino do petróleo subdivide-se em quatro etapas distintas.

#### 1º Etapa:

Através da planta de refino, o petróleo bruto é fracionado, principalmente através da destilação atmosférica, e transformado em combustíveis tais como a gasolina, o diesel e o querosene, e em insumos petroquímicos, principalmente a nafta.

#### 2º Etapa:

Como os derivados combustíveis produzidos na primeira etapa são diretamente encaminhados para o mercado consumidor, a segunda etapa do refino envolve a continuidade do processo de transformação do petróleo. Esta transformação ocorre nas instalações da indústria petroquímica, que, a partir da decomposição da nafta, produz a segunda geração de derivados, também conhecidos como petroquímicos básicos e intermediários. Dentre os principais petroquímicos básicos estão o eteno e o propeno, e dentre os petroquímicos intermediários, estão o cicloexano e o sulfato de amônia.

#### 3º Etapa:

A terceira etapa do processo de refino envolve as indústrias que transformam os produtos derivados de segunda geração em polímeros como o polietileno tereftalado (PET) e o policloreto de vinila (PVC), largamente utilizado pela indústria e consumido pela população.

#### 4ª Etapa:

Compreende a atividade das indústrias transformadoras de plástico, que utilizam como insumo os polímeros fabricados na terceira etapa do processo de refino e desenvolvem a grande diversidade de produtos e componentes plásticos que consumimos e utilizamos hoje.

Como visto anteriormente, não existem dois petróleos idênticos, e este fato têm grande influência na adoção de um esquema de refino; isto determinará os tipos de produtos obtidos e a qualidade dos mesmos, logo, também não existem refinarias idênticas, o mercado consumidor e a oferta de óleo cru determinarão as escolhas tecnológicas da planta de produção e o conseqüente esquema de refino.

A sociedade atualmente apresenta total dependência dos produtos oriundos do refino do petróleo. O valor de comercialização deste insumo não está mais meramente relacionado aos setores industriais de energia e de transporte, fato que por si só, já o tornaria extremamente importante.

Hoje, a economia mundial tenderia ao colapso sem os produtos derivados do petróleo. Os produtos plásticos estão por toda parte, nas embalagens, nos computadores, nos utensílios domésticos, nos escritórios, etc.

### **2.3. O refino do petróleo e a produção de derivados**

Como visto, a refinaria é o local onde o petróleo cru é processado com o objetivo de gerar produtos derivados, sejam eles combustíveis ou insumos petroquímicos.

Porém, cabe ressaltar que as refinarias tendem a ter seus processos diferenciados. Esta característica de distinção é devida ao fato de serem qualificadas como sistemas de operações múltiplas, pois, segundo Cardoso (CARDOSO, 2006, P.68) compreende etapas de separação, conversão e tratamento, adaptadas ao tipo de petróleo bruto que entra na planta de refino, sendo a destilação atmosférica considerada como operação vital do processo.

As refinarias também possuem outra função de extrema importância. Através de processos específicos, elas removem as impurezas presentes no óleo bruto. A

remoção destes compostos é essencial para aumentar a proteção ao meio ambiente e melhorar a qualidade dos produtos, pois, no caso dos combustíveis, a presença destas impurezas durante a queima, aumenta significativamente o potencial poluidor dos derivados e reduz a eficiência da combustão.

A construção das refinarias pode ser em locais próximos aos poços de produção, onde o óleo e o gás podem ser processados sem a necessidade de um complexo sistema logístico de distribuição e escoamento. Porém, esta possibilidade é restrita a poucas áreas, em geral, as refinarias tendem a ficar localizadas a centenas de quilômetros dos poços de produção, carecendo de uma enorme infraestrutura de dutos e embarcações para compor um sistema logístico que garanta o abastecimento de petróleo e gás natural nas refinarias, para que as mesmas possam operar.

Ao chegar a uma refinaria, o óleo cru é armazenado em tanques até que possa ser processado. De forma genérica, uma refinaria de petróleo pode ser entendida como uma planta industrial que tem por objetivo limpar e separar o óleo bruto em diversas frações, originando diversos produtos.

### 2.3.1. O parque de refino brasileiro

Inicialmente, é importante desenvolver um conceito. Grau API é uma forma de expressar a densidade do petróleo, através de um índice adimensional, ou seja, quanto maior for a densidade do petróleo, menor será o seu grau API, ou mais pesado será o petróleo (SZKLO, 2005, p. 11).

O petróleo prospectado no Brasil apresenta baixo grau API, sendo muito denso e viscoso. Logo, as refinarias brasileiras, construídas a partir da década de 50, período no qual nosso país ainda não havia atingido a auto-suficiência em prospecção e produção, foram planejadas para processar óleos leves, importados. Por isso, o parque de refino brasileiro ainda não possui capacidade tecnológica para processar o óleo nacional, recorrendo a técnicas de blendagem (mistura) de óleos ou rearranjo de unidades de refino para processar, pelo menos uma parte, do óleo nacional (CARDOSO, 2006, p. 63).

Segundo Szklo (2005, p. 115), o Brasil possui 13 refinarias, das quais 7 estão no Sudeste (REPLAN, REDUC, REVAP, RPBC, REGAP, RECAP, MANGUINHOS), 3 na região Sul (REPAR, REFAP, IPIRANGA), 2 no Nordeste (RELAN e LUBNOR) e uma na região Norte (REMAN), cabe ressaltar das 13 refinarias, apenas duas não

são estatais, sendo elas Manguinhos e a Ipiranga e que, em 2002, 63% da capacidade de processamento centralizava-se no Sudeste.

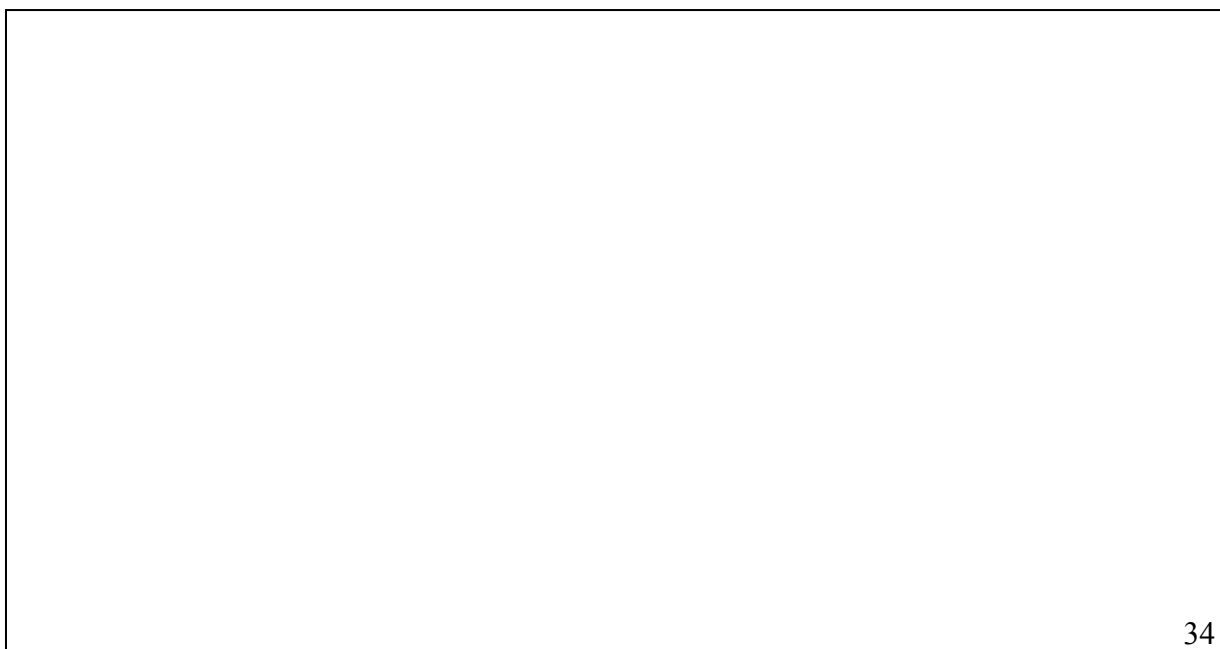
O processamento do petróleo nacional ocorre nas refinarias da Petrobrás através da blending com petróleos importados, sendo o perfil de produção focado em produtos claros e escuros (CARDOSO, 2006, p. 64). Já as refinarias privadas processam quase que em sua totalidade petróleos importados, focando na produção de produtos claros.

Existe hoje uma tendência à adequação das refinarias para o processamento do óleo nacional, fato devido ao controle majoritário da Petrobrás, que já vêm investindo na adequação de seu parque de refino ao óleo nacional. Como visto anteriormente, outra tendência é o aumento da produção de derivados médios, em especial o diesel, para atender a alta demanda do transporte rodoviário de nosso país (SZKLO, 2005, p.111).

Segundo Szklo (2005, p. 119) o parque de refino brasileiro investiu em unidades de conversão para, gradativamente, aumentar o nível de processamento do óleo nacional, adequando o perfil de produção à demanda atual do mercado.

### 2.3.2. Etapas do refino do petróleo:

Como visto, as etapas de refino de petróleo resumem-se, basicamente, em quatro processos: a dessalinização, a separação, a conversão e o tratamento. A figura 03 abaixo esquematiza de forma sintética o processo de refino do petróleo, destacando as principais unidades associadas aos processos de separação, conversão e tratamento do petróleo.





Tendo em vista a inexistência de plantas de refino idênticas e, com o objetivo de melhor compreender as diversas etapas do refino do petróleo e facilitar a identificação de em quais delas há geração de resíduos sólidos perigosos, foi elaborado um esquema de refino hipotético no presente estudo, sendo este representado pela figura 04 abaixo. As etapas foram definidas à luz da revisão bibliográfica sobre o tema e estudos sobre o segmento downstream da indústria do petróleo.

O esquema hipotético apresentado (Figura 04), contempla todas as fases da primeira etapa do refino, sendo elas a separação, a conversão e o tratamento do petróleo cru, a saber:



#### 2.3.2.1. Dessalinização:

Ao sair dos tanques de armazenamento, o petróleo cru deve passar pelo processo de dessalinização antes de ser fracionado. Este processo é importante, pois além de remover os sais presentes no petróleo bruto também remove alguns metais e sólidos em suspensão que podem, entre outras coisas, causar danos às unidades de destilação, provocar corrosão nos equipamentos, depositar nas paredes dos trocadores de calor. (MARIANO, 2001, p. 14). O processo de dessalinização é baseado no aquecimento e mistura do petróleo cru com água (entre 3 e 10% do volume do óleo). A água dissolve os sais e é então separada do petróleo com a utilização de desemulsificadores, e/ou pela aplicação de potenciais elétricos.

#### 2.3.2.2. Separação:

Há basicamente três processos de separação aplicados ao refino do petróleo: destilação atmosférica, destilação a vácuo e desfaltação à propano. Todos os processos consistem na separação de produtos com diferentes pontos de ebulição através do aquecimento. O procedimento é físico e bastante simples: quando um líquido atinge seu ponto de ebulição, vaporiza-se podendo ser recolhido e condensado em outra faixa de temperatura, voltando ao estado líquido, porém com diferentes características. Assim, o petróleo bruto dessalinizado pode ser fracionado em diversas cortes, com diferentes pontos de ebulição e líquidos condensados com diferentes características.

a) Destilação atmosférica: A destilação atmosférica é o primeiro processo de refino em qualquer refinaria (CARDOSO, 2006, p. 69). Ocorre através de um processo físico de separação, sendo os produtos derivados obtidos através de seus diferentes pontos de ebulição. Sob essa lógica, é possível vaporizar os compostos leves, intermediários e pesados em diferentes frações de temperatura no interior dos diversos estágios da torre de destilação. Estas frações se condensarão, caracterizando os diferentes produtos derivados. Assim, na parte mais alta da torre obtêm-se frações leves como o gás, a nafta e a gasolina.

Nos estágios intermediários obtêm-se frações como o querosene e o diesel. Já no fundo da torre de destilação atmosférica obtêm-se o óleo combustível e o resíduo atmosférico (RAT). Porém, cabe ressaltar que nem todas estas frações já estão prontas para serem encaminhadas para o mercado consumidor. De acordo

com a tecnologia aplicada e o tipo de petróleo que foi utilizado no início do processo, muitas frações ainda precisarão passar por outras unidades de refino para atenderem as especificações mínimas exigidas (CARDOSO, 2006, p. 71)

Cabe ressaltar que, durante este processo, também é formado um resíduo pesado que não é vaporizado nas condições tecnológicas e de operação (temperatura e pressão) do processo. Por isso, a partir deste resíduo, surge um novo processo para dar continuidade ao refino do petróleo, a destilação a vácuo.

b) Destilação a vácuo: O processo de destilação a vácuo é muito semelhante ao processo de destilação atmosférica. A diferença básica entre os dois consiste no tipo de pressão aplicado ao sistema. Na destilação a vácuo, a pressão aplicada é negativa, sendo o objetivo principal produzir frações de derivados leves. Dentre as frações leves produzidas, o gasóleo destaca-se por ser matéria prima para a produção de lubrificantes, para tal é necessária a construção de uma unidade de processo específica, não sendo esta, alvo da pesquisa proposta.

Assim, como na destilação atmosférica, existe, na destilação a vácuo, a geração de um subproduto residual que não é vaporizado com as condições tecnológicas e operacionais do processo. Este resíduo pode ser utilizado como asfalto ou como matéria-prima para a produção de óleo combustível.

c) Desfaltação a propano: Este processo tem por objetivo extrair, através da utilização de propano à alta pressão como solvente, um gasóleo de alta viscosidade, com alto valor comercial, extraído do resíduo de fundo da unidade de destilação a vácuo. Como subproduto deste processo, é gerado um resíduo asfáltico que, dependendo de suas características físico-químicas e da tecnologia instalada no processo, poderá ser utilizado como asfalto ou como óleo combustível.

A operação é bastante simples, coloca-se em contato o resíduo de vácuo e o propano, o resíduo é dissolvido, sendo o óleo vertido para a parte superior da torre de reação, e as resinas e asfaltos vertidos para a parte inferior da torre. A partir de então o propano pode ser condensado e recuperado através de estágios com diferentes pressões e o asfalto recuperado, podendo ser misturado com outros produtos pesados ou utilizado em outros processos da refinaria.

### 2.3.2.3. Conversão:

Os processos de conversão têm como objetivo agregar valor econômico a frações do petróleo pouco interessantes comercialmente. De maneira geral, os processos de conversão são baseados em reações químicas de quebra, reagrupamento e reestruturação molecular estimuladas pela presença de catalisadores.

Assim, a qualidade das frações é melhorada e sua comercialização torna-se viável (MARIANO, 2001, p. 21). Segundo Szklo (2005, p. 28), a presença de unidades de conversão nas refinarias as torna mais complexas. Fazem parte da etapa de conversão do petróleo os processos de craqueamento catalítico, coqueamento retardado, hidrocraqueamento, alquilação, isomerização, reforma catalítica e etc.

a) Coqueamento Retardado: O coqueamento é um processo de craqueamento usado para reduzir a quantidade de óleos combustíveis residuais gerados nas refinarias. O coqueamento produz o coque, uma substância composta por carbono sólido, hidrocarbonetos e impurezas. O processo de coqueamento é muito similar ao processo de craqueamento, porém, o tempo de reação da corrente de alimentação é maior e não há refrigeração da mesma.

b) Craqueamento catalítico: O craqueamento catalítico quebra grandes estruturas de hidrocarbonetos em moléculas mais leves através do aquecimento, da pressão e da ação de um catalisador. Em geral, os catalisadores utilizados são compostos por aluminossilicato, alumina, argila e um ligante. Como os demais processos que utilizam catalisadores, o craqueamento catalítico produz coque, que tende a se depositar sobre a superfície do catalisador, alterando suas propriedades, por tal é necessário que o mesmo seja regenerado periodicamente.

O processo de craqueamento catalítico é uma das maiores fontes de poluentes atmosféricos de uma refinaria (MARIANO, 2001, p. 27). Este fato é devido à queima de combustíveis para geração de calor no processo, às emissões fugitivas e às emissões geradas durante a etapa de regeneração do catalisador (grandes concentrações de monóxido de carbono e material particulado - alumina e níquel).

c) Hidrocraqueamento: O hidrocraqueamento é bastante similar ao craqueamento catalítico, porém ocorre sob altas pressões parciais de hidrogênio. O objetivo principal deste processo é diminuir a quantidade de coque que se deposita sob o catalisador, geralmente compostos de cobalto e molibdênio suportados em alumina, aumentando também a estabilidade química dos produtos finais.

Os produtos destinados a este processo são aqueles que não podem ser craqueados cataliticamente com facilidade, dentre eles citam-se os óleos combustíveis residuais, o cru reduzido e os destilados médios (MARIANO, 2001, p. 29). Outra função do hidrocraqueamento é retirar enxofre e nitrogênio dos produtos, evitando assim envenenamento do catalisador. Porém, pequenos volumes de águas ácidas e gás sulfídrico são gerados, sendo então encaminhados para as unidades de tratamento.

d) Alquilação: A alquilação é um processo muito específico adaptável a diversos outros processos dentro da planta de refino. No caso do esquema de refino proposto, o mesmo foi alocado posterior à destilação atmosférica, com o objetivo de, a partir do GLP, gerar gasolina. Porém, a unidade de alquilação também poderia estar associada ao craqueamento catalítico, ao coqueamento, a reforma catalítica ou ao processamento de gás natural, dependendo apenas do esquema de produção adotado e da demanda do mercado consumidor.

O objetivo principal da unidade de alquilação é, a partir do isobutano, produzir gasolina de alta octanagem. Segundo Mariano (2001, p. 31), uma unidade de alquilação é constituída de duas seções principais, sendo uma de reação, onde um sistema de agitação cria uma emulsão de hidrocarbonetos e catalisador, e outra de recuperação dos reagentes e purificação do catalisador que recebe, após a decantação da emulsão, a fase orgânica da mesma. A fase ácida da emulsão é recirculada pela seção de reação e os produtos do processo são extraídos.

e) Reforma catalítica: No esquema de refino proposto, a reforma catalítica enquadra-se como um processo de rearranjo molecular da nafta pesada oriunda da destilação atmosférica. De acordo com o controle do ponto de ebulição da estrutura química da nafta, associado à utilização de um catalisador, é possível obter uma nafta de alta octanagem, hidrocarbonetos aromáticos com alto teor de pureza (benzeno, tolueno ou xileno) e uma fração de gás combustível e GLP.

A ocorrência do processo é baseada na utilização de um catalisador, geralmente composto de platina, e hidrogênio sob a mistura de hidrocarbonetos que entra na unidade. Dentro de condições específicas de temperatura e pressão, ocorre uma série de reações químicas que dão origem a frações leves, hidrogênio, hidrocarbonetos aromáticos, hidrocarbonetos isoparafínicos e coque.

g) Isomerização: O processo de isomerização é usado para promover alterações na estrutura molecular sem remover ou adicionar nada à molécula original. Normalmente, parafinas são convertidas em isoparafinas, que apresentam maior octanagem. As reações de isomerização ocorrem a temperaturas entre 90 e 200°C, com a presença de catalisadores especiais que necessitam de atmosfera de hidrogênio para atuar, reduzindo a formação e deposição de coque.

#### 2.3.2.4. Tratamento:

No refino de petróleo, os tratamentos químicos aplicam-se com o intuito de alterar propriedades indesejáveis associadas à presença de contaminantes no petróleo cru e nos derivados, especialmente aquelas que contenham enxofre, nitrogênio ou oxigênio. Estes processos são de extrema importância, pois têm como função enquadrar os derivados produzidos dentro das especificações técnicas e ambientais exigidas pela legislação. Diversos métodos podem ser utilizados nesta etapa, dentre eles destacam-se, para a dissertação proposta, o hidrotratamento, tratamento Bender e o tratamento caústico.

a) Hidrotratamento: Hidrotratamento têm por objetivo eliminar compostos indesejáveis tais como o enxofre, o nitrogênio, o oxigênio e etc., que podem vir a reduzir a eficácia dos catalisadores utilizados nos processos de hidrocrackeamento e craqueamento catalítico. Segundo Mariano (2001, p. 34) a operação de hidrotratamento também melhora a qualidade das frações de petróleo com o propósito de reduzir a formação de goma nos combustíveis, além de produzir combustíveis leves, gás sulfídrico e amônia.

O processo ocorre a altas pressões e elevadas temperaturas, através da utilização de catalisadores, em geral óxidos de cobalto e molibdênio suportados em alumina, associados a uma alta concentração de hidrogênio.

b) Tratamento Bender: É caracterizado como um processo de “adoçamento”, pois objetiva transformar compostos agressivos de enxofre em outros menos agressivos, sem a sua retirada da composição do produto, logo, sem alterar o teor total de enxofre.

Este tratamento consiste basicamente na oxidação catalítica dos mercaptans a dissulfetos em meio alcalino com a utilização de catalisadores à base de óxido de chumbo. Este tratamento é muito utilizado para frações intermediárias do petróleo tais como nafta, querosene e óleo Diesel.

c) Tratamento cáustico: Este tratamento apenas é utilizado em produtos nos quais o teor de enxofre não é muito elevado. Este fato é devido ao alto valor da soda caustica, podendo inviabilizar o tratamento de grandes porções de derivados.

O produto a ser tratado é misturado com uma solução de soda caustica, induzindo reações de neutralização na mistura. Depois desta etapa, devido à diferença de densidade, a mistura é separada em duas fases distintas, o produto tratado e uma solução cáustica. Este processo utilizado no tratamento de frações leves, as quais possuam densidades inferiores à solução cáustica, tais como o GLP e a gasolina.

#### 2.3.2.5. Processos auxiliares:

Muitas operações importantes de uma refinaria não estão diretamente envolvidas com a produção de derivados, mas apresentam um papel indispensável de suporte. Tais operações serão brevemente descritas a seguir.

a) Tratamento de Efluentes: Grandes volumes de água são necessários para a operação do refino de petróleo (MARIANO, 2001, p. 43). Quatro tipos distintos de efluentes são produzidos em uma refinaria, sendo eles: as águas contaminadas coletadas a céu aberto, as águas de refrigeração, as águas de processo, e os efluentes sanitários.

As refinarias de petróleo normalmente utilizam tratamento primário e secundário de seus efluentes. O tratamento primário consiste na separação do óleo, água e sólidos em dois estágios. No primeiro estágio, um separador API ou outro separador água e óleo é utilizado. O efluente se é vertido através do separador,



permitindo que o óleo fique livre no sobrenadante, podendo, desta forma, ser removido (MARIANO, 2001, p. 44).

Os sólidos se depositam no fundo e são retirados por um funil coletor de lama. O segundo estágio utiliza métodos químicos ou físicos para promover a separação dos óleos emulsionados no efluente. Os métodos físicos podem incluir o uso de uma série de tanques de decantação ou de flotores a ar induzido. Agentes coagulantes, tais como hidróxido férrico ou hidróxido de alumínio podem ser usados com o fim de flocular as impurezas.

No tratamento secundário, o óleo dissolvido e outros poluentes orgânicos são biologicamente consumidos por microorganismos. Esta etapa normalmente requer a adição de oxigênio, que pode ocorrer a partir de diversas técnicas, incluindo o uso de unidades de lodo ativado, filtros e outros. O tratamento secundário gera um resíduo de biomassa, que usualmente é anaerobiamente tratado e depois desidratado, antes de poder ser descartado.

Alguns dos resíduos gerados na etapa de tratamento de efluentes de refinarias podem ser considerados perigosos e incluem: a lama do separador água e óleo, a lama do tratamento primário, as lamas dos separadores gravitacionais, o sobrenadante do flotor e os resíduos dos tanques de decantação.

b) Tratamento de Gás e Recuperação de Enxofre: O enxofre é retirado de diversas correntes que passam pelas unidades de processo das refinarias. Atualmente, devido às maiores exigências da legislação ambiental de nosso país, o enxofre produzido nesta unidade poderá estar no estado sólido ou líquido, dependendo da demanda do mercado, e deverá ter, no mínimo, 99,5% em peso de pureza (MORAES, 2007, sl. 46). Por isso, é necessário construir unidades específicas para o tratamento e a recuperação do enxofre nas refinarias.

Atualmente também é interessante para as refinarias recuperar o enxofre elementar, pois o mesmo pode ser comercializado com outras indústrias que o utilizam como insumo. Porém, antes que o mesmo possa ser recuperado é preciso que seja separado do gás combustível gerado em diversas etapas do refino, dentre elas o coqueamento, o craqueamento catalítico, o hidrotratamento e o hidroprocessamento.

Segundo Szklo (2005, p. 63), o método mais utilizado para a recuperação do enxofre elementar é a combinação do processo Claus com o processo Beaven. O

processo Claus é responsável pela retirada de cerca de 90% do enxofre elementar e consiste basicamente na combustão parcial da corrente gasosa que contenha o gás sulfídrico, gerando dióxido de enxofre (SO<sub>x</sub>), que posteriormente reagirá com um catalisador de bauxita, a fim de se produzir o enxofre elementar. Parte do enxofre restante pode ser retirado através do processo Beaven, onde a corrente de gás sulfídrico que sai do processo Claus, é induzida a reagir com uma solução de quinona, sendo retirada mais uma fração de enxofre elementar.

c) Limpeza dos Trocadores de Calor: Os trocadores de calor são usados em toda a refinaria, com a finalidade de aquecer ou resfriar as correntes das diversas unidades de processamento do petróleo. Consistem basicamente em feixes de tubulação contendo água de aquecimento ou de resfriamento, vapor, ou até mesmo óleo, que, indiretamente fornecem ou retiram calor de correntes que passam pelas unidades de processo, de acordo com a necessidade de cada trecho.

d) Blowdown: Blowdown é um sistema de drenagem de águas contaminadas e ventilação de gases que é construído por toda a planta de refino. Seu objetivo é verter a água contaminada e circular os gases produzidos pelas unidades de separação e conversão do petróleo para a estação de tratamento de efluentes, para unidade de tratamento de gases e para os flares.

e) Composição: Ocorre em tanques próprios para o processo, sendo considerado o último estágio da primeira etapa de refino do petróleo. Nele, através da mistura de produtos, as especificações necessárias são atingidas para todos os produtos. Assim, são verificados e corrigidos parâmetros como o conteúdo de enxofre, a viscosidade, a pressão de vapor, o peso específico, a octanagem e etc.

f) Armazenamento em tanques: Os tanques de estocagem são utilizados por toda planta de refino, tanto para armazenar o petróleo cru no início do processo, quanto os produtos derivados no final do processo. Além de armazenar, os tanques também têm por finalidade baixar a temperatura dos produtos que serão utilizados nas próximas etapas de refino.

Os tanques merecem atenção especial, pois representam grandes riscos ambientais caso ocorram rachaduras em sua superfície ou caso sistema não esteja

hermeticamente isolado, garantindo estanqueidade durante os repetitivos processos de enchimento e esvaziamento dos mesmos.

As rachaduras e fissuras de fundo merecem uma atenção ainda maior, pois existe a tendência de deposição e acumulação de uma lama composta de ferrugem (corrosão), areia, água, cera e óleos emulsionados. Dependendo do tipo de petróleo que adentrou na refinaria e dos processos pelo qual passou, também pode haver resíduos de chumbo nesta lama, bem como fenóis e alguns metais.

g) Torres de Resfriamento: O objetivo das torres de resfriamento nas refinarias é diminuir a temperatura da água utilizada para refrigerar as demais etapas do processo. A efetividade do funcionamento das torres depende do volume de água aquecida pelos processos e do controle de injeção de ar nas mesmas. Parte da água evapora devido às altas temperaturas, sendo o restante vertido para o sistema blowdown e então para a estação de tratamento de efluentes

#### **2.4. Meio ambiente, indústria do petróleo e refino**

A produção de petróleo e seus produtos derivados contribuem para a poluição do ar, da água e do solo. Perfurações em busca de óleo podem afetar ecossistemas frágeis tanto em terra quanto no mar. O transporte de óleo pode colocar em perigo a fauna e a flora caso haja vazamentos e derramamentos em terra, rios e oceanos. Tanques de armazenamento subterrâneo podem rachar ou furar, podendo poluir as águas subterrâneas e criar plumas de poluição no subsolo. O processamento de óleo nas refinarias pode contribuir para a poluição do solo, ar, água e sonora. Queimar gasolina como combustível em nossos carros contribui diretamente para a poluição atmosférica e conseqüente agravamento do efeito estufa. Mesmo a mais cuidadosa coleta, reciclagem ou disposição de resíduos de óleo lubrificante usado pode contaminar rios, lagos e oceanos.

O atual cenário está longe de ser animador, apesar de maiores investimentos e sanções legais aos poluidores. As companhias de petróleo limpam suas refinarias reduzindo as emissões para o ar e corpos hídricos e a quantidade de resíduos gerados com programas de reciclagem, reutilização e minimização de

resíduos. A fórmula dos derivados, em especial da gasolina, foi modificada para ser menos poluente, reduzindo as emissões de monóxido de carbono, óxido de nitrogênio e óxido de enxofre.

Mas, qual é a origem do potencial poluidor do petróleo? Esta origem esta relacionada aos hidrocarbonetos de petróleo, na maioria tóxicos e às impurezas presentes no mesmo. Como visto anteriormente, segundo a visão de Szklo (2005, p. 1), o petróleo cru é composto basicamente por carbono, hidrogênio e impurezas. Estas impurezas, quando oleofílicas, podem advir de compostos sulfurados, nitrogenados, oxigenados, bem como de resinas, asfaltenos e compostos organometálicos presentes quimicamente na estrutura do petróleo, melhor detalhados a seguir:

- *Compostos sulfurados:* Segundo Szklo (2005, p. 4), os compostos sulfurados presentes no óleo cru são indesejáveis pois, durante o refino, provocam a corrosão de tanques de armazenamento e tubulações, contaminam os catalisadores utilizados nos processos, afetam as características de cor e cheiro dos produtos. Para o meio ambiente, a presença destes compostos nos produtos finais de refino, caracteriza, após a combustão dos mesmos, a formação de óxidos de enxofre (SOx).
- *Compostos nitrogenados:* Os compostos nitrogenados são termicamente estáveis, por isso, no refino, tendem à influenciar na capacidade do óleo em reter água, tornando mais instáveis os produtos desejados, formando gomas e alterando a sua coloração, além de envenenarem os catalisadores utilizados nos processos (Szklo p. 6). Para o meio ambiente, a presença de compostos nitrogenados nos derivados induz, após a queima dos mesmos, a formação de óxidos de nitrogênio (NOx).
- *Compostos oxigenados:* De maneira geral, durante o refino, os compostos oxigenados tendem a ficar concentrados nas frações pesadas do petróleo e induzir o aumento a acidez dos derivados, alterando também sua coloração e odor, sendo responsável pela formação de gomas e por uma maior corrosividade de tubulações e tanques de armazenamento. Para o meio ambiente os oxigenados são indutores da formação de chuvas ácidas.

- *Resinas e Asfaltenos:* São caracterizadas por moléculas grandes, com alta relação carbono/hidrogênio, presença de enxofre, oxigênio e nitrogênio. A estrutura básica das resinas e asfaltenos são semelhantes, porém as resinas estão dissolvidas e os asfaltenos apresentam-se sob a forma coloidal. São prejudiciais para o refino e para o meio ambiente pelos mesmos motivos das demais impurezas.
- *Compostos organometálicos:* Estes são os maiores responsáveis pela contaminação de catalisadores durante o refino. Apresentam-se sob a forma de sais orgânicos dissolvidos na água emulsionada ao petróleo, são de fácil remoção e estão mais presentes nas frações pesadas. Os metais presentes nestes compostos são o ferro, o zinco, o cobre, o chumbo, o mercúrio, o cobalto, o cromo, o níquel, o vanádio e etc. Com relação à preocupação ambiental, encontra-se o risco de dispersão de metais pesados na atmosfera e corpos hídricos.

Já as impurezas oleofóbicas, ainda segundo Szklo (2005, p. 7), são caracterizadas pela presença de água, sais (brometos, iodetos, sulfetos, cloretos e etc.), argilas, areias e sedimentos no óleo bruto. A fonte principal destas impurezas é a “água de formação” do petróleo presente na jazida.

De acordo com as características químicas das impurezas presentes no óleo cru, os poluentes mais comuns, gerados durante o refino do petróleo, são os hidrocarbonetos voláteis, o monóxido de carbono (CO), os óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), o material particulado, a amônia (NH<sub>3</sub>), o sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), metais e compostos orgânicos tóxicos.

Porém, segundo Mariano (2001, p. 125):

[...] os poluentes gerados nas unidades de processo das refinarias, são modestos frente à poluição total gerada pelo consumo dos produtos derivados do petróleo, seja pelo consumo para o transporte, para a manufatura de produtos químicos, para a geração de energia elétrica ou para usos comerciais. (MARIANO, 2001, p. 125)

Ou seja, apesar de seu enorme potencial poluidor, comparativamente ao consumo de seus produtos, surpreendentemente, a etapa de refino do petróleo apresenta um menor potencial poluidor

No âmbito dos impactos ambientais do refino do petróleo, as emissões atmosféricas, os efluentes líquidos e a geração de resíduos sólidos, destacam-se como maiores responsáveis pela geração de passivos:

#### 2.4.1. Emissões atmosféricas:

Segundo Szklo (2005, p. 78), os poluentes associados às emissões atmosféricas nas refinarias de petróleo incluem a amônia ( $\text{NH}_3$ ), o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o monóxido de carbono (CO), o ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), metais, óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), material particulado, ácidos ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  e HF), óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ), compostos orgânicos voláteis (COVs) e diversos composto orgânicos tóxicos.

A formação destes poluentes já é esperada visto que os mesmos são frutos das impurezas presentes no óleo cru e dos processos de refino pelos quais passaram, sendo diversas as suas fontes de geração, dentre elas:

- Emissões associadas à queima de combustíveis na planta de refino;
- Emissões fugitivas, tanto de perdas por entre a unidade de refino, quanto pela evaporação de compostos voláteis;
- Emissões evaporativas associadas aos processos e a estocagem de produtos;
- Emissões evaporativas provenientes da estação de tratamento de águas da refinaria.

#### 2.4.2. Efluentes líquidos:

Os efluentes líquidos típicos de uma refinaria de petróleo consistem, basicamente em águas de resfriamento, águas de processo, esgotos sanitários e águas de chuva. Os efluentes são tratados dentro da própria refinaria em estações de tratamento. Atendidas as exigências de concentração de poluentes da legislação vigente, o efluente tratado pode então ser despejado na rede pública de esgotos ou em corpos hídricos da região.

Como pode haver falhas nos sistemas de coleta e tratamento de efluentes da refinaria, quantidades significativas de hidrocarbonetos líquidos podem ser despejados no solo ou nos corpos hídricos da região. A pluma de contaminação do solo pode resultar em contaminação do lençol freático e de águas superficiais. A qualidade da água pode ser drasticamente alterada, influenciando negativamente

diversos ecossistemas locais, com riscos à saúde humana, caso esta água venha a ser consumida.

#### 2.4.3. Resíduos Sólidos:

Os resíduos sólidos gerados nas refinarias de petróleo, são gerados durante os diversos processos de refino, durante o manuseio do petróleo por entre as unidades produtivas, bem como durante o tratamento de efluentes gerados na mesma. É importante frisar que são produzidos resíduos perigosos e não perigosos nas refinarias, porém ambos precisam ser geridos adequadamente. De acordo com a NBR 10004, estes resíduos são gerados sob a forma de sobrenadantes, sólidos emulsionados, lodos, sedimentos, resíduos, borras e catalisadores gastos.

## CAPITULO 3

### OS RESÍDUOS SÓLIDOS

***“Um ser humano só cumpre o seu dever quando tenta aperfeiçoar os dotes que a natureza lhe deu.”***

*Hermam Hesse*

#### 3.1. Caracterização de resíduos sólidos

Até a presente data, não possuímos uma Política Nacional de Resíduos Sólidos, fato que gera uma série de entraves para a adequação empresarial, federal e municipal na questão da gestão dos resíduos sólidos em nosso país. Por isso, no meio técnico, são utilizadas as normas técnicas (NBRs), publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para orientações acerca destas questões.

O primeiro passo para definir qual a melhor metodologia para a elaboração de um modelo de gestão de resíduos sólidos é conhecer os resíduos com os quais se estará lidando. Classificar corretamente o resíduo é condição básica para adequada implementação de todas as etapas seguintes de gestão, seja a coleta, a armazenagem, o transporte, a manipulação ou a destinação final (Manual de gerenciamento de resíduos da Firjan, 2006, p. 06).

A NBR 10004:2004 - Resíduos Sólidos, Classificação, descreve que “[...] a classificação destes resíduos envolve a identificação dos processos ou atividades que os originaram, bem como seus constituintes e características, além da comparação destes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente seja previamente conhecido”.

A identificação destes constituintes é estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e os processos que lhe deram origem. De acordo com a NBR 10004, podemos definir resíduos sólidos como:

“Resíduos no estado sólido ou semi-sólido, resultam das atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de estações de tratamento



de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados, líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviável em seu lançamento na rede em face da melhor tecnologia disponível".(NBR 10004:2004, p. 03)

Os resíduos sólidos também podem ser classificados de acordo com sua fonte geradora. Após a revolução industrial, a produção de lixo no mundo foi muito intensificada. A antiga composição do lixo, de pequeno volume e rica em matéria orgânica, foi sendo modificada ao longo dos séculos. Novos produtos passaram a fazer parte de nossa rotina, plásticos, papelão, alumínio e etc., passaram a compor a mistura heterogênea que forma os atuais resíduos indesejáveis da atividade humana.

Embalagens e materiais descartáveis passaram a ser amplamente utilizados e descartados nas residências e no comércio. Nas zonas rurais, a agricultura passou a ter que gerir grandes quantidades de embalagens de fertilizantes e rações, já que as áreas de cultivo e pasto cresceram muito. Já nas áreas urbanas, a construção civil tornou-se geradora do maior volume de resíduos a ser gerido, juntamente com a varrição pública. Os aglomerados humanos passaram a necessitar de equipamentos urbanos de suporte, hospitais tornaram-se foco de geração de resíduos merecedores de atenção especial, bem como os portos, aeroportos e rodoviárias.

Com o desenvolvimento tecnológico e econômico, as indústrias passaram a gerar grandes volumes de novos produtos, utilizando novos materiais e consequentemente gerando novos tipos de resíduos. Por isso, faz-se necessário caracterizar os diversos tipos de resíduos sólidos produzidos em nossa atividade cotidiana.

O Manual de Gerenciamento Integrado elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e pelo Compromisso Empresarial Para Reciclagem (CEMPRE, 2000, p. 29 e 30) sugere uma classificação de resíduos de acordo com sua fonte geradora:

1. *Resíduos domiciliares*: Originado na vida diária, nas residências, constituído por restos de alimentos (cascas de frutas, verduras, sobras), produtos deteriorados, jornais, revistas, garrafas, embalagens em geral, papel higiênico, fraldas descartáveis e uma infinidade de outros itens como materiais para pintura, jardinagem, automóveis, pilhas, lâmpadas, frascos de aerossol e etc.

2. *Resíduos comerciais:* Provenientes de estabelecimentos comerciais e de serviço, tais como supermercados, bancos, shoppings, restaurantes e etc. que produzem grandes quantidades de plásticos, embalagens e restos de alimentos, dentre outros resíduos.
3. *Resíduos públicos:* Advindos da limpeza pública urbana, destacando-se os resíduos de varrição pública, limpeza de praias, limpeza de galerias, córregos e terrenos baldios, podas de árvores, restos de feiras-livres e etc.
4. *Resíduos de serviço de saúde:* São aqueles que contem ou podem conter germes patogênicos, também chamados de resíduos sépticos. São gerados em hospitais, clínicas, laboratórios, farmácias, clínicas veterinárias, postos de saúde e etc. Geralmente estão presentes nos resíduos de serviço de saúde, agulhas, seringas, gazes, algodões, órgãos e tecidos removidos, meios de culturas e animais usados em testes, sangue coagulado, luvas descartáveis, remédios com validade vencida, instrumentos de resina sintética, filmes fotográficos de raios X, etc. Porém, nestes estabelecimentos também são produzidos resíduos assépticos, tais como papéis, restos de alimentos, resíduos de limpeza, que se forem coletados corretamente e separados previamente, podem ser tratados da mesma forma que os resíduos domiciliares, desde que estes não tenham entrado em contato direto com pacientes ou com os resíduos sépticos anteriormente descritos.
5. *Resíduos de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários:* São constituídos de resíduos sépticos produzidos nos portos, aeroportos e terminais rodoviários e ferroviários, principalmente material de higiene pessoal e restos de alimentos, os quais podem veicular doenças provenientes de outras cidades, estados e países. Assim, como no caso dos resíduos de serviço de saúde, os resíduos assépticos destes locais podem ser tratados como resíduos domiciliares, desde que coletados corretamente e separados previamente.

6. *Resíduos agrícolas*: Originados nas atividades agrícolas e pecuárias, sendo compostos por embalagens de fertilizantes e de defensivos agrícolas, rações, restos de colheita, etc. As embalagens de agroquímicos são, em geral, altamente tóxicas, tendo sido alvo de legislação específica quanto aos cuidados na sua destinação final.
7. *Resíduos de construção civil*: São compostos por materiais de demolições, restos de obras, solos, sobra de vergalhões e etc. O entulho, de uma maneira geral, é um material inerte, passível de reaproveitamento, porém, pode conter alguns materiais indutores de toxicidade, como restos de tintas, solventes, peças de amianto e etc.
8. *Resíduos industriais*: Inicialmente podemos definir resíduos industriais como aqueles originados nas atividades industriais de diversos ramos, tais como metalúrgica, química, petroquímica, papelaria, alimentícia e etc. O resíduo industrial é bastante variado, podendo ser representado por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papéis, madeiras, fibras, borrachas, metais, escórias, vidros, cerâmicas, etc. podendo ou não apresentar características perigosas. Em seguida, os conceitos acerca dos resíduos industriais serão detalhados.

### **3.2. Resíduos industriais**

Como o objetivo desta dissertação é estudar a gestão dos resíduos perigosos gerados nas refinarias de petróleo, faz-se necessário aprofundar a pesquisa na identificação e caracterização dos resíduos industriais.

#### **3.2.1. Caracterização dos resíduos industriais**

Um dos conceitos principais acerca da identificação de resíduos industriais é a sua capacidade intrínseca de liberação de poluentes. Esta capacidade está diretamente relacionada às características físicas do resíduo, que determinarão a sua forma de migração pelo meio ambiente.

Geralmente os poluentes nas fases líquida ou gasosa tendem a impactar mais o meio ambiente do que os poluentes sólidos, as lamas e as pastas. Este fato é devido a maior facilidade de movimentar-se pelo ambiente, ou seja, dependendo das características físico-químicas do meio e dos poluentes, estes podem ser transportados com maior facilidade para outras áreas.

A NBR 10004 também cita em sua definição de resíduos sólidos aqueles no estado semi-sólido, por isso se faz necessário analisar de forma mais detalhada os resíduos industriais sólidos, pastosos e as lamas, típicos das refinarias de petróleo.

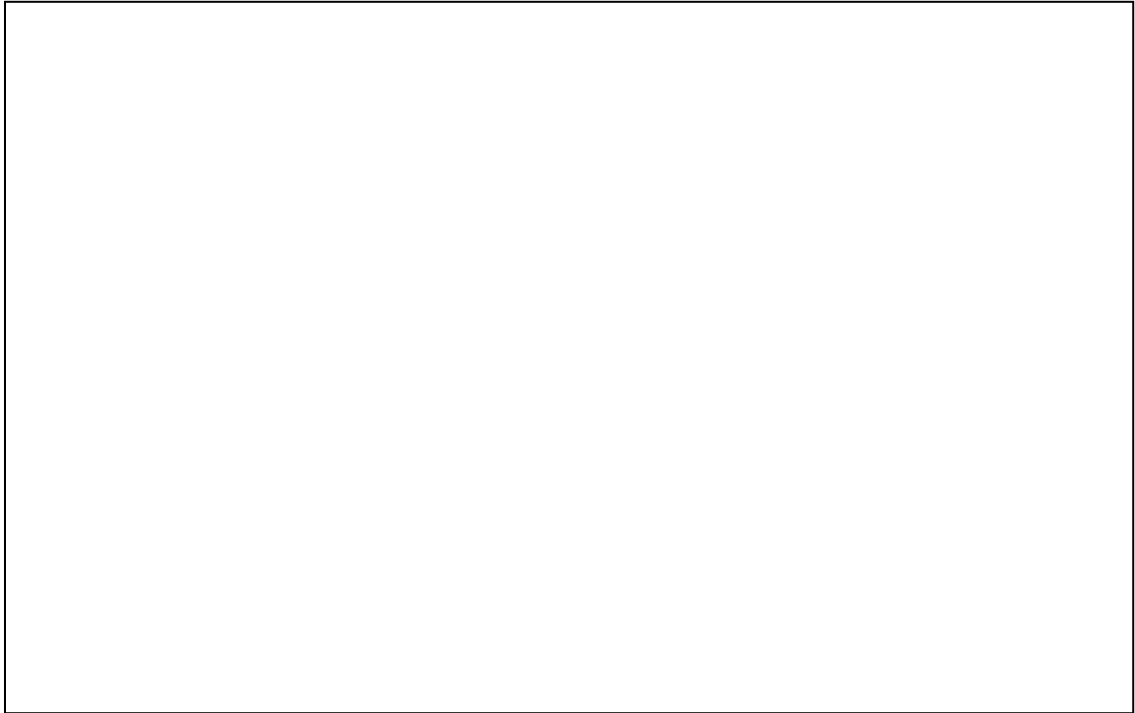
Muitas destas lamas podem conter metais, metais pesados e outros elementos em suspensão ou misturados nas fases líquidas e sólidas, esta gama de componentes de características físico-químicas diferentes, dificulta o tratamento e a disposição final destes resíduos.

### 3.2.2. Identificação e classificação dos resíduos industriais

Devido aos riscos ambientais e à saúde intrínsecos em alguns resíduos industriais, é preciso que seja feita uma classificação correta dos mesmos, para assim definir o tratamento e a destinação final mais adequada. Segundo Ritter (2006, p. 6 a 8), para que a eficiência desta classificação seja garantida, algumas etapas preliminares devem ser cumpridas.

#### 1º Etapa: Identificação da origem e caracterização dos resíduos:

A análise do processo permite identificar, dentre outras coisas, a tipologia do resíduo, as matérias primas utilizadas, os produtos gerados e os pontos de geração do resíduo, bem como a composição, a quantidade e a qualidade destes resíduos. O esquema contido na figura 05 abaixo possibilita visualizar e identificar algumas fontes de geração de resíduos sólidos na operação de um processo de produção.



**Figura 05:** Esquema de identificação de resíduos: *Adaptado de Ritter (2006, p. 6)*

#### 2º Etapa: Análise laboratorial dos resíduos:

Para Ritter (2006, p. 7), “[...] as análises laboratoriais somente devem ser realizadas, quando os dados obtidos, com o procedimento anterior, forem insuficientes para caracterizar adequadamente os resíduos, impedindo sua classificação”.

As análises laboratoriais são realizadas com o intuito de avaliar as possíveis características perigosas dos resíduos (inflamabilidade, corrosividade, patogenicidade e reatividade), sendo estas detalhadas posteriormente. Para que estas análises sejam representativas, devem ocorrer conforme o especificado na NBR 10007/04 Amostragem de Resíduos.

Os custos de identificação dos resíduos industriais através de testes laboratoriais costumam ser altos, pois demandam mão-de-obra especializada e equipamentos caros.

#### 3º Etapa: Classificação dos resíduos industriais:

A diretriz (DZ) 1311 elaborada pela Fundação Estadual de Engenharia de Meio Ambiente (FEEMA) do Rio de Janeiro, define resíduos industriais como:

Resíduos resultantes dos processos industriais, inclusive os líquidos que por suas características peculiares não podem ser lançados na rede de esgoto ou em corpos

d'água e que não são passíveis de tratamentos convencionais. Incluem-se também os resíduos gerados nos sistemas de tratamento de efluentes e emissões atmosféricas. (DZ 1311, 1994, p. 03)

Porém, a definição elaborada pela FEEMA pode ser considerada como genérica por não especificar nem classifica os diversos tipos de resíduos industriais existentes. No Brasil, para classificar corretamente os resíduos de uma determinada atividade industrial, é necessário consultar algumas normas técnicas específicas.

A principal norma de classificação em nosso país é a, já mencionada anteriormente, NBR 10004. Algumas outras normas complementares devem ser utilizadas durante a classificação de um resíduo industrial, dentre elas a NBR 10005, procedimento laboratorial para a execução do ensaio de lixiviação de Resíduos, a NBR 10006, Solubilização de Resíduos e a NBR 10007, Amostragem de Resíduos.

A classificação dos resíduos sólidos baseia-se nas características e propriedades destes resíduos, no seu confronto com listagens de resíduos reconhecidamente perigosos e de padrões de concentração de poluentes, fornecidos pela própria norma. A NBR 10004 oferece um total de 8 anexos que deverão ser consultados:

- Anexo A – Resíduos perigosos de fontes não específicas;
- Anexo B – Resíduos perigosos de fontes específicas;
- Anexo C – Substâncias que conferem periculosidade aos resíduos;
- Anexo D – Substâncias agudamente tóxicas;
- Anexo E – Substâncias tóxicas;
- Anexo F – Concentração – Limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação;
- Anexo G – Padrões para o ensaio de lixiviação;
- Anexo H – Codificação de alguns resíduos classificados.

Com base na análise destas listagens, os resíduos sólidos poderão ser agrupados em três classes distintas, conforme organizado no quadro 01 a seguir **Tabela**:

- Resíduos classe I (perigosos):
- Resíduos classe II (não perigosos):
  - Resíduos classe II A (Não inertes);
  - Resíduos classe II B (Inertes).

**Tabela-Quadro 01:** Classificação de resíduos sólidos

<b>Resíduos perigosos (Classe I)</b>		Apresentam risco saúde pública ou ao ambiente, caracterizando se por ter uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
<b>Resíduos não-perigosos (Classe II)</b>	<b>Resíduos classe II A (Não inertes)</b>	Podem ter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, porém não se enquadram como resíduo I ou II B.
	<b>Resíduos classe II B (Inertes)</b>	Não têm nenhum dos seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de águas, excetuando se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

*Adaptado da NBR 10.004 Resíduos sólidos - Classificação 2004, p. 3*

### 3.3. Resíduos perigosos

#### 3.3.1. Identificação, origem e caracterização dos resíduos perigosos

O cotidiano humano implica na utilização de produtos extremamente nocivos ao meio ambiente, tais como pesticidas e fertilizantes, que implicam na entrada direta de componentes químicos perigosos no solo, podendo contaminar o próprio solo e os mananciais que permeiam por ele, acabando por ser absorvidos por animais ou plantações, afetando direta ou indiretamente a espécie humana.

Outros produtos tais como tintas, solventes e gasolina podem evaporar durante sua utilização, caracterizando outra forma de entrada de componentes perigosos no meio ambiente, podendo estes precipitar em forma de chuva ácida, agravar o aquecimento global ou aumentar as dimensões dos buracos na camada de ozônio, com conseqüências já bastante divulgadas.

Resíduo perigoso pode ser entendido como todo aquele que apresenta em sua composição substâncias potencialmente perigosas à saúde da fauna e flora do meio ambiente, seja em uma situação presente, como no ato de sua disposição no solo ou em uma situação futura, com a possível persistência e migração de seus componentes perigosos para outros meios e ecossistemas.

Como visto anteriormente, as diversas fontes de geração de resíduos implicam em uma gama de substâncias perigosas que podem ser líquidas, sólidas, lamas ou pastas, podendo ou não conter frações gasosas.

A NBR 10004, em sua revisão de 2004, define a periculosidade como a característica apresentada por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, pode apresentar:

1. Risco a saúde pública, provocando ou acentuando, de forma significativa, um aumento de mortalidade ou incidência de doenças e/ou;
2. Riscos ao ambiente, quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada.

Ainda segundo a NBR 10004, os resíduos perigosos devem ser classificados de acordo com suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e patogenicidade:

- **Inflamabilidade:**

Segundo a NBR 1004, um resíduo sólido é caracterizado como inflamável se uma amostra representativa dele, apresentar qualquer uma das seguintes propriedades:

1. Ser líquida e ter ponto de fulgor inferior a 60°C, excetuando-se as soluções aquosas com menos de 24% de álcool em volume;
2. Não ser líquida e ser capaz de, sob condições de temperatura e pressão de 25°C e 1atm, produzir fogo por fricção, absorção de umidade ou por alterações químicas espontâneas e, quando inflamada, queimar vigorosa e persistentemente, dificultando a extinção do fogo;
3. Ser um oxidante definido como substância que pode liberar oxigênio e, como resultado, estimular a combustão e aumentar a intensidade do fogo em outro material;
4. Ser um gás comprimido inflamável, conforme a Legislação Federal sobre transporte de produtos perigosos.

- **Reatividade:**

As substâncias reativas são aquelas que experimentam reações violentas (BIRD, 2006, p. 531), necessitando ou não de outras substâncias para tal. Este fato é geralmente devido à presença de agentes redutores ou oxidantes na estrutura



química destas substâncias, que podem combinar-se de forma a implicar fortes reações exotérmicas.

- Corrosividade:

Resíduos corrosivos são aqueles demasiados ácidos ou básicos capazes de corroer ou dissolver metais, tecidos e outros materiais. A EPA utiliza dois critérios distintos para identificar e definir os resíduos perigosos corrosivos. O primeiro é o teste de pH, onde resíduos aquosos com pH maior ou igual a 12,5, ou menor ou igual a 2,0 são considerados corrosivos. O segundo critério de identificação é a capacidade de um determinado resíduo corroer um tipo de aço já especificado pela EPA.

- Patogenicidade:

Segundo a NBR 10004, um resíduo é caracterizado como patogênico quando houver uma suspeita ou certeza de que uma amostra representativa do mesmo, contenha microorganismos patogênicos, proteínas virais, ácido desoxiribonucleico (DNA), ácido ribonucleico (RNA) recombinantes, organismos geneticamente modificados, toxinas e etc. capazes de produzir doenças em seres humanos, animais e vegetais.

- Toxicidade:

Toxicidade pode ser definida como a característica química de uma dada substância capaz de causar algum efeito nocivo quando há interação da mesma com um organismo vivo qualquer (RITTER, 2007, p. 9). A toxicidade está diretamente relacionada à dose induzida desta substância nos sistemas de cada organismo. Resíduos tóxicos são aqueles que, quando ingeridos ou absorvidos, tornam-se prejudiciais à saúde humana, podendo inclusive levar ao óbito.

Outra forma de identificação dos resíduos perigosos é através da utilização de uma lista de substâncias potencialmente perigosas elaboradas pelos órgãos de controle, normatização e fiscalização de cada país ou até mesmo pelas próprias indústrias, como o elaborado pela ABNT na NBR 10004.

Como visto anteriormente, os resíduos perigosos são comumente identificados pela análise dos processos industriais aos quais foram submetidos,

tanto através da tipologia dos processos que os geraram, quanto das matérias-primas utilizadas e do produto final gerado, sendo todas as fontes geradoras avaliadas de acordo com a sua composição e quantidade.

Devido à diversidade de fontes, a quantidade de resíduos perigosos dispostos de forma irregular no ambiente e o surgimento de novas substâncias em curtos espaços de tempo, é difícil definir uma classificação universal destes resíduos. Como exemplo desta diversidade, a [Tabela-Quadro 02](#) abaixo, relaciona alguns setores econômicos e o tipo de resíduos perigosos que geram.

**Tabela-Quadro 02:** Exemplos de geração de resíduos perigosos.

Setor	Fonte	Resíduos perigosos
Serviços, comércio e agricultura	Veículos	Resíduos oleosos
	Aeroportos	Óleos, fluidos hidráulicos etc.
	Lavagem a seco	Solventes halogenados
	Transformadores	Bifenilas policloradas (PBS)
	Hospitais	Resíduos patogênicos
	Fazendas, parques municipais etc.	Resíduos de pesticidas, embalagens contaminadas
Indústrias de pequeno e médio porte	Tratamento de metais (galvanoplastia e etc.)	Lodos contendo metais pesados
	Fabricação de tintas	Solventes, borras, tintas
	Curtimes	Lodos contendo cromo
Indústria de grande porte	Extração de bauxita, fabricação de alumínio	Resíduos de desmonte de cubas de redução
	Refinarias de petróleo	Catalisadores, resíduos oleosos
	Produção de cloro	Lodos contendo mercúrio
	Química	Resíduos de fundo de torre de coluna de desidratação

*Adaptado de Braga, 2006, p. 153*

Segundo estimativas feitas em 2002 pela Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos ([www.abetre.org.br](http://www.abetre.org.br)), nosso país produz cerca 2,9 milhões de toneladas de resíduos industriais perigosos por ano e apenas cerca de 600 mil toneladas (22%), recebem tratamento adequado, sendo que destes 73% vão para aterros industriais, 23% são enviados para co-processamento e apenas 4% são incinerados.

Infelizmente, os 2,3 milhões de toneladas (78%) de resíduos restantes são dispostos irregularmente, em terrenos baldios e lixões sem tratamento algum. Em 2002, quando o estudo foi elaborado, a situação brasileira já era calamitosa. As sucessivas agressões ao meio ambiente com a disposição inadequada e a ausência de tratamento prévio destes resíduos já haviam gerado passivos ambientais

irrecuperáveis. Segundo a estimativa elaborada pela ABETRE, este passivo representou um custo aproximado de 5 bilhões de reais somente na última década, valor que aumenta cerca de meio milhão de reais por ano, já tendo se passado cinco anos desde a elaboração deste estudo.

Ainda não existe um meio exato de se valorar economicamente a destruição de espécies e de ecossistemas, por isso, o valor citado acima não condiz realmente com a situação real.

### 3.3.2. Classificação dos resíduos perigosos

Em linhas gerais, os resíduos perigosos podem ser classificados como “biomédicos” ou “químicos”, porém como o objetivo do estudo proposto é analisar os resíduos gerados nas refinarias de petróleo, não cabe aprofundar nos conceitos acerca dos resíduos biomédicos, apenas dos químicos.

- Resíduos químicos:

Como dito anteriormente, as substâncias perigosas podem afetar a saúde humana, fauna e flora de diversas maneiras, dependendo basicamente das características físico-químicas dos resíduos e do meio em que estão. Estas substâncias podem sofrer diversos tipos de transformações, alterando suas características perigosas, agravando-as ou minimizando-as.

Devido às diversas características das substâncias perigosas, faz-se necessário classificá-las quimicamente. Segundo Braga (2006, p. 155 e 156) os resíduos químicos podem ser classificados em orgânicos ou inorgânicos:

- a) *Resíduos químicos orgânicos*: Dentre os resíduos perigosos orgânicos, destacam-se aqueles de lenta degradação (resíduos orgânicos persistentes), especialmente os que podem sofrer bioacumulação.
- b) *Resíduos químicos inorgânicos*: Apresentam em sua composição substâncias tais como mercúrio, chumbo, cádmio e arsênio, podendo estas ser tóxicas a baixas concentrações ou possuir características bioacumulativas nos diversos níveis das cadeias alimentares.

Segundo Pepper (1996, p. 256), grande parte dos resíduos industriais apresenta em suas estruturas químicas frações orgânicas. Diversos produtos à base de carbono, tais como reagentes, solventes e materiais crus, são amplamente utilizados em muitas etapas dos processos industriais. Por isso, indústrias

farmacêuticas, alimentícias, petroquímicas e refinarias de petróleo, tendem a gerar grandes volumes de resíduos sólidos com altas concentrações de químicos orgânicos.

### 3.3.3. Resíduos perigosos e seus efeitos nocivos à saúde humana

Substâncias com características químicas tóxicas causam diversos tipos de danos temporários, permanentes ou até mesmo levar à morte organismos que interagem de alguma forma com elas. De acordo com Miller (2007, p. 383) existem três tipos principais de agentes potencialmente tóxicos, os mutagênicos, teratogênicos e os cancerígenos.

Os mutagênicos são aqueles que alteram a frequência de mutações ou as moléculas de DNA dos organismos. Já os teratogênicos, são aqueles que causam danos diretos à saúde ou defeitos congênitos em fetos. Os cancerígenos são aqueles que causam uma multiplicação excessiva de células, podendo gerar tumores.

Com relação às substâncias químicas perigosas, estas podem causar danos à saúde dos seres humanos ou de outras espécies por possuir características inflamáveis, explosivas, corrosivas ou patogênicas podendo causar irritações na pele e pulmão, interferir na absorção de oxigênio ou deflagrar reações alérgicas. As reações nocivas provenientes da inalação, ingestão ou simples contato destas substâncias com a espécie humana podem afetar diretamente os sistemas imunológico, nervoso e endócrino.

O sistema imunológico pode ser enfraquecido ao ficar em contato com substâncias perigosas como o arsênio e as dioxinas, deixando organismos mais vulneráveis a vírus, protozoários, bactérias infecciosas e desencadear reações alérgicas por todo o corpo. Algumas substâncias perigosas como as neurotoxinas naturais ou sintéticas, podem, de acordo com as concentrações de exposição, paralisar temporariamente o sistema nervoso, causar alterações comportamentais graves ou até mesmo levar a morte, devido ao fato de inibirem, danificarem ou destruírem células nervosas, como exemplo de neurotoxinas temos os PCB's, o metilmercúrio, o chumbo e alguns pesticidas.

O sistema endócrino é o responsável pelo controle hormonal do corpo humano, controle este que ativa ou desativa determinados sistemas. Algumas substâncias químicas como o DDT e os PCB'S inibem a produção de hormônios

podendo alterar o desenvolvimento dos organismos, causar distúrbios comportamentais, alterar a capacidade de aprendizagem e de reprodução.

## CAPITULO 4

### GESTÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS NAS REFINARIAS DE PETRÓLEO

*“É triste pensar que a natureza fala e que o gênero humano não a ouve.”*

*Victor Hugo*

#### 4.1. Geração e caracterização dos resíduos gerados nas refinarias

Devido ao enorme potencial poluidor de sua atividade, o refino do petróleo deve ser conduzido com extrema precaução ambiental. A construção de chaminés, filtros e demais mecanismo de controle de poluição atmosférica é indispensável, assim, o volume e a concentração de gases, vapores e material particulado, emitidos durante o processo de refino são reduzidos ou controlados a níveis toleráveis.

O tratamento do petróleo bruto dá origem a resíduos oleosos que merecem atenção especial devido ao impacto ambiental que podem gerar, mesmo que sejam adotadas tecnologias e modelos gerenciais que priorizem a proteção ao meio ambiente. Os efluentes líquidos do refino devem ser tratados por tecnologias que envolvam processos físicos, químicos e biológicos, garantindo assim maior eficácia no controle da poluição hídrica gerada durante a produção de derivados.

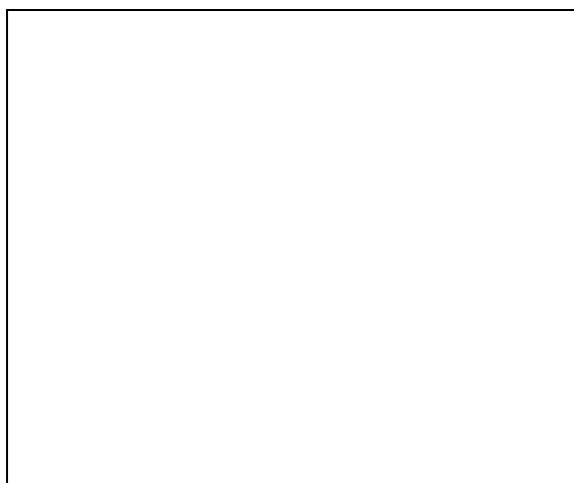
Com relação aos resíduos sólidos, as refinarias devem possuir ou estimular a criação de programas de minimização de resíduos baseados no conceito dos 3R's, ou seja, através da redução na fonte, do reaproveitamento e da reciclagem. Sob o reaproveitamento, evidencia-se a potencialidade da logística reversa aplicada à gestão dos resíduos sólidos produzidos nas refinarias. Alguns destes resíduos são passíveis de comercialização com indústrias de outros segmentos, que os utilizarão como insumos de produção. Para os resíduos que não poderão ser aproveitados por nenhuma destas alternativas, devem ser adotadas tecnologias de tratamento que sejam viáveis economicamente e aceitáveis ambientalmente, para posterior acondicionamento dos mesmos em aterros industriais, onde terão suas características físico-químicas perigosas controladas e monitoradas, com o objetivo principal de proteger o meio ambiente.

Para uma gestão eficiente dos resíduos sólidos gerados nas refinarias, é necessário, em um primeiro momento, identificar os diversos tipos de resíduos gerados durante as diversas etapas de refino e de tratamento de efluentes da refinaria. Após esta identificação, os resíduos têm sua periculosidade e características físico-químicas estudadas, detalhadas e conhecidas. Com a análise destas informações, os possíveis impactos do descarte inadequado destes resíduos no meio ambiente podem ser parcialmente majorados. A partir de então, podem ser avaliadas as melhores alternativas para estes resíduos, seja o tratamento, a disposição final em aterros industriais, a reciclagem ou a reutilização, ou uma combinação dos mesmos. Neste momento, também pode ser avaliada a real potencialidade de se aplicar os conceitos da logística reversa na gestão destes resíduos.

É importante lembrar que o objeto principal de um sistema de gestão de resíduos é a proteção ao meio ambiente, por isso, é necessário rever e otimizar os processos de geração de resíduos, as técnicas de tratamento e as práticas de acondicionamento. Estudar a adoção de tecnologias mais limpas, aprimorar técnicas gerenciais, incentivar o treinamento profissional, aplicar o conceito dos 3R's, reavaliar procedimentos de manutenção e de controle também surgem como medidas indispensáveis à otimização de um sistema de gestão de resíduos.

A geração de resíduos nas refinarias tem origem, principalmente, nas etapas de produção de derivados citadas anteriormente, porém, também há geração de um percentual considerável durante o transporte do petróleo por entre planta industrial, durante o funcionamento da estação de tratamento de efluentes e etc. Cabe ressaltar que nem todos os resíduos gerados durante o processo de refino apresentam características potencialmente perigosas ao meio ambiente.

As características de periculosidade destes resíduos dependem do tipo de petróleo utilizado, da tecnologia de refino adotada e do derivado que fora produzido (gasolina, querosene, diesel e etc.), conforme organizado no fluxograma contido na figura 06 a seguir.



**Figura 06:** Fluxograma de caracterização dos resíduos gerados nas refinarias

Inicialmente, cabe destacar que os constituintes inorgânicos típicos destes resíduos incluem elementos químicos tóxicos tais como arsênio, cádmio, cromo, chumbo, bário, mercúrio, selênio e prata, bem como compostos tais como a amônia e o ácido sulfúrico. Compostos orgânicos tais como as bifenilas policloradas (BPC's), hidrocarbonetos halogenados e hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA's) também são comumente encontrados na composição química destes resíduos (MARIANO, 2001, p. 125). A figura 07 abaixo, contendo o fluxograma de caracterização dos constituintes perigosos nos resíduos sólidos gerados nas refinarias, ilustra a organização destes compostos.



**Figura 07:** Fluxograma de caracterização de constituintes perigosos presentes nos resíduos sólidos gerados nas refinarias



#### 4.1.1. Os resíduos sólidos perigosos nas refinarias

Como visto, os processos de refino e as características do óleo cru são os responsáveis pelas características perigosas presentes nos resíduos a serem geridos. Durante a pesquisa foi possível verificar a inexistência de um padrão de identificação destes resíduos em nosso Estado. Este fato é devido principalmente a falta de fiscalização e conhecimento do poder público e órgãos ambientais que não exigem padrões mais rigorosos no preenchimento e verificação das informações contidas no inventário de resíduos, documento que as empresas devem apresentar anualmente. O inventário não exige maiores informações acerca do processo que originou os resíduos, apenas sobre a atividade industrial, ou seja, baseia-se somente na discriminação da tipologia e características físico-químicas dos resíduos gerados na atividade de refino do petróleo.

Como visto no capítulo 2, o refino do petróleo é uma atividade que opera múltiplos processos simultaneamente, não sendo suficiente para uma gestão eco-eficiente, classificar os resíduos somente pela atividade, conforme informações contidas no inventário, pois assim podem estar sendo perdidas oportunidades gerenciais com estes resíduos. Estes resíduos devem ser classificados de acordo com as múltiplas unidades que compõem a atividade.

As referencias pesquisadas permitiram identificar três formas distintas de classificação destes resíduos. A primeira ocorre através da lista de resíduos perigosos gerados durante a atividade de refino do petróleo fornecida pela NBR 10.004/2004, esta listagem permite classificar alguns resíduos de acordo com suas principais características físico-químicas e outros de acordo com o processo originário. A segunda forma de classificação é a que melhor se adequa a intenção proposta nesta pesquisa, pois identifica a geração dos resíduos somente a partir dos diferentes processos de refino. Por ultimo, foi avaliado o inventário de resíduos de uma refinaria, para, a partir deste, avaliar de forma prática a classificação destes resíduos, sendo também apresentados os volumes produzidos no ano de preenchimento do documento.

Vale frisar que não houve concordância quanto à caracterização dos resíduos em nenhuma das três formas pesquisadas, sendo a que melhor se adequa as intenções propostas nesta dissertação é aquela que caracteriza os resíduos de acordo com seu processo originário.

A seguir, [na-no tabelaQuadro](#) 03, segue a classificação proposta pela NBR

10004 para os resíduos perigosos oriundos das atividades de refino do petróleo:

**TabelaQuadro 03:** Resíduos sólidos perigosos gerados em refinarias de petróleo

FONTE GERADORA	RESÍDUO PERIGOSO	CONSTITUINTE PERIGOSO	PERICULOSIDADE
Refino do Petróleo	Sobrenadante proveniente de separadores tipo DAF (Dissolved Air Flotation) empregados na indústria de refino de petróleo.	Cromo hexavalente e chumbo	Tóxico
	Sólidos provenientes da emulsão residual oleosa gerada na indústria de refino do petróleo.	Cromo hexavalente e chumbo	Tóxico
	Lodos provenientes da limpeza dos tubos dos trocadores de calor empregados na indústria de refino de petróleo.	Cromo hexavalente	Tóxico
	Lodos provenientes dos separadores empregados na indústria do refino do petróleo.	Cromo hexavalente e chumbo	Tóxico
	Resíduos contendo chumbo proveniente de fundo de tanques empregados na indústria de refino do petróleo.	Chumbo	Tóxico
	Sedimentos do tanque de armazenamento de óleo cru, das operações de refino de petróleo.	Benzeno	Tóxico
	Borra clarificada do resíduo do tanque de óleo e/ou sólidos dos separadores / filtros de linha das operações de refino de petróleo.	Benzeno pireno, dibenzeno antraceno, benzeno antraceno, benzeno fluoranteno, 3-metilbenzilciclopentanoantraceno, 7,12 – dimetilbenzeno antraceno	Tóxico
	Gasto proveniente do hidrotreatamento das operações de refino de petróleo, incluindo leitos usados para dessulfurizar as alimentações para outros reatores catalíticos.	Benzeno, arsênio	Tóxico, inflamável

*Adaptado da NBR 10.004 Resíduos sólidos - Classificação 2004, p. 25 e 26*

Como mencionado anteriormente, a caracterização proposta pela NBR 10.004/2004, generaliza a fonte geradora como refino do petróleo, atendo-se em caracterizar os resíduos de acordo com as características físico-químicas dos mesmos, como no caso dos “sólidos provenientes da emulsão residual oleosa gerada na indústria do petróleo”, que é composto por resíduos de diversas unidades de refino, ou de acordo com o processo originário, como no caso de “lodos provenientes dos trocadores de calor empregados na indústria do refino do petróleo”.

Para otimizar o processo de gestão é necessário padronizar informações. Por isso, a presente pesquisa intenciona caracterizar os resíduos gerados por unidade

de refino. Pelo constatado, os resíduos sólidos gerados apresentam características distintas, conforme pode ser visto no Quadro 4 a seguir. Para melhor estudar o modelo de gestão, é interessante mapear os focos de geração de resíduos perigosos no esquema de refino proposto no capítulo 2, conforme ilustra a figura 08 abaixo. Visualizando todo o processo, identificar e caracterizar os resíduos gerados torna-se mais simples.

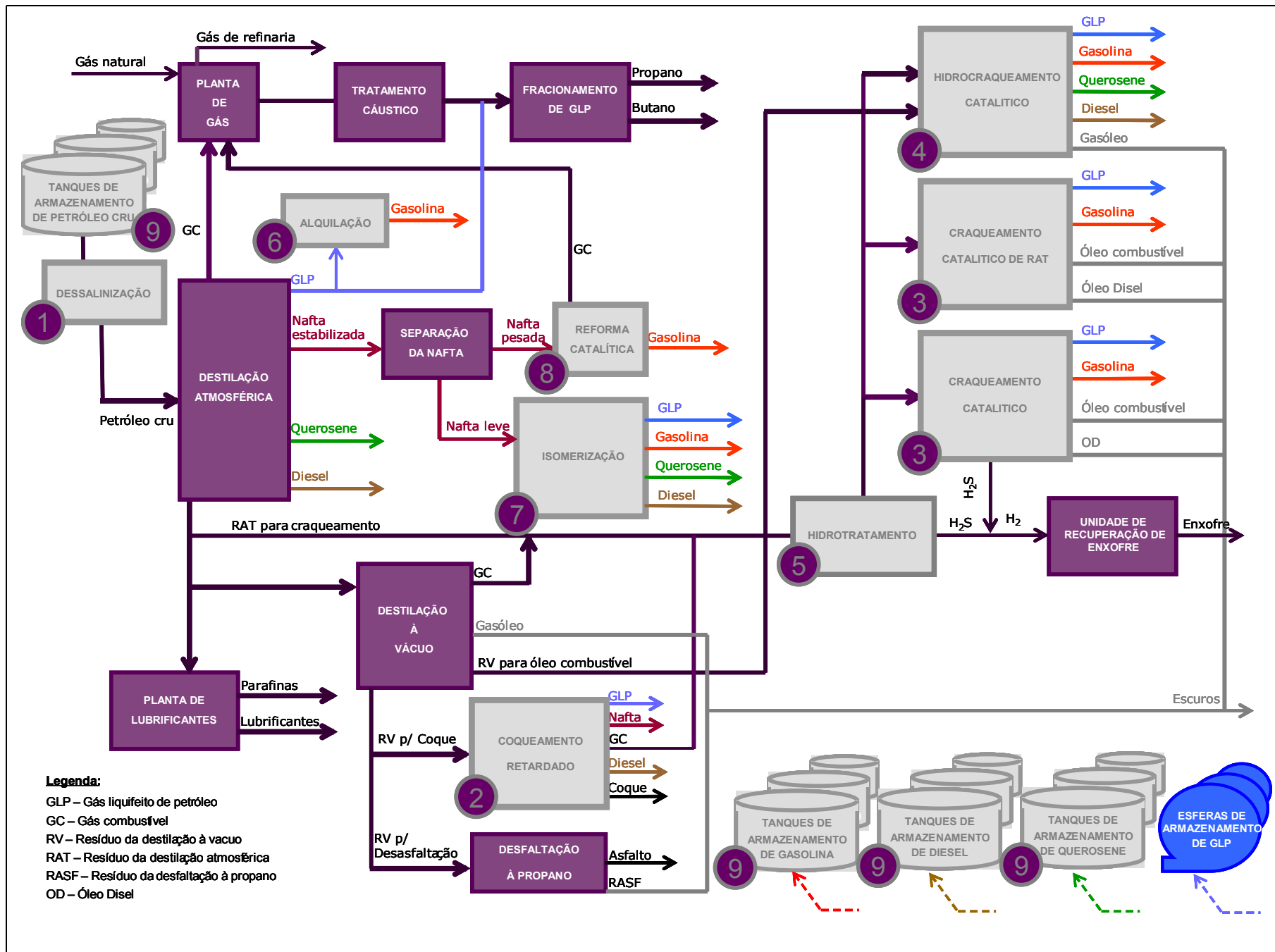


Figura 08: Fluxograma hipotético de refino: Identificação de pontos de geração de resíduos perigosos: Adaptado de Cardoso (2006, p. 68) e Szklo (2005, p. 89).

**TabelaQuadro 04:** Resíduos perigosos gerados nas unidades de refino e suas características.

°	ETAPA DO REFINO	RESÍDUO SÓLIDO GERADO	CARACTERÍSTICAS DO RESÍDUO
1	Dessalinização	Lama do dessalinizador	Areia, ferrugem, água, metais, argila, óleo emul.
2	Coqueamento	Resíduo de coque	Partículas de carbono e HC
3	Craqueamento catalítico	Catalisador exausto	Metais pesados do óleo cru e HC
		Finos do catalisador exausto	Silicato de alumínio e metais
4	Hidro craqueamento catalítico	Finos do catalisador exausto	Metais pesados e HC
5	Hidrotratamento	Finos do catalisador exausto	Silicato de alumínio e metais
6	Alquilação	Lama de alquilação neutralizada	Ácido sulfúrico e HC
7	Isomerização	Lama da isomerização	Cloreto de cálcio (Neutralização do HCl)
8	Reforma catalítica	Finos do catalisador exausto	Silicato de alumínio e metais
9	Tanques de estocagem	Lama de fundo	Areia, ferrugem, água, metais, argila, óleo emul.

*Adaptado de Mariano, 2001, p. 56 a 60*

#### 4.1.1.1. Lama de dessalinização:

Como visto anteriormente, o processo de dessalinização é baseado no aquecimento e mistura do petróleo cru juntamente com água, para então haver a separação do petróleo com a utilização de desemulsificadores, este processo também é conhecido como a “lavagem” do petróleo. A água utilizada acaba por remover a maior parte dos minerais solúveis e os sólidos em suspensão presentes no petróleo, formando uma lama, que deve ser gerida. Segundo Mariano (2001, p. 131) dentre os componentes perigosos desta lama destaca-se o benzeno.

#### 4.1.1.2. Resíduos do coqueamento retardado:

Dentre as unidades de tratamento térmico, a de coqueamento retardado é a mais utilizada nas refinarias ao longo do mundo, sendo também a unidade que gera maiores volumes de partículas finas, que em geral são comercializadas junto à venda do coque, logo nem sempre vistos como resíduos e sim como produtos. A periculosidade deste resíduo esta associada aos hidrocarbonetos de elevado peso molecular em sua estrutura química.

#### 4.1.1.3. Catalisador exausto do craqueamento catalítico

Com o objetivo de se manter a eficiência do processo de craqueamento catalítico, seu catalisador, geralmente a base de caulim, zeolitas, alumina e sílica, deve ser periodicamente substituído por novo catalisador fresco. Segundo Mariano (2001, p. 132) há regeneração deste catalisador exausto, porém, após alguns períodos de utilização, o mesmo perde sua atividade, caracterizando a geração de um resíduo que deve ser gerido.

Este resíduo gerado é considerado como perigoso devido aos constituintes presentes no catalisador e na corrente de alimentação do processo, dentre eles destacam-se os hidrocarbonetos da corrente de alimentação, os produtos das reações de reforma, inclusive o benzeno e os metais que compõem o catalisador.

#### 4.1.1.4. Catalisador exausto do hidrocraqueamento catalítico e do hidrotreatamento:

De acordo com Mariano (2001, p. 132) os catalisadores mais utilizados tanto no hidrocraqueamento catalítico quanto no hidrotreatamento são compostos de cobalto, níquel e molibdênio. Oriundos do processo, e agregados ao catalisador, compõem ainda o resíduo o sulfeto de hidrogênio, alguns outros.

Este resíduo é retirado da unidade a partir do momento que o catalisador torne-se inativo devido às reações químicas ocorridas com as impurezas que passam pela unidade ou devido à deposição de coque em sua superfície, sendo substituído por catalisador fresco.

#### 4.1.1.5. Resíduos da alquilação:

Como tem sido visto ao longo do desenvolvimento desta dissertação, a geração de resíduo nas unidades de processo está associada à carga que entra na mesma. Devido ao fato de a unidade de alquilação ser adaptável a diversos outros processos de refino e conseqüentemente possuir a capacidade de processar diversas cargas, diversos resíduos de características distintas podem ser gerados. No caso do modelo hipotético de refino proposto nesta dissertação, a carga de entrada é o GLP com o intuito de produção da nafta, por tal são gerados dois resíduos, catalisador exausto e lama.

O catalisador a base de ácido sulfúrico, normalmente utilizado no processo de alquilação, periodicamente precisa ser retirado do reator e substituído por novo catalisador devido a sua perda gradativa de reatividade, devendo então ser armazenado e enviado para regeneração. Quando o mesmo não for regenerado

deve então ser qualificado como resíduo perigoso devido a característica corrosiva do ácido sulfúrico.

As lamas geradas são oriundas das águas utilizadas para lavagem caustica do processo e dos tanques e reatores das unidades de operação. A periculosidade deste lama está associada aos hidrocarbonetos presentes em sua composição. Os constituintes perigosos da lama são apenas os hidrocarbonetos oriundos das correntes de alimentação.

#### 4.1.1.6. Resíduos da Isomerização:

Assim como a unidade de alquilação, a isomerização produz mais de um tipo de resíduo perigoso a ser gerido, são eles o catalisador exausto do processo e a argila de tratamento do mesmo.

Segundo Mariano (2001, p. 134), os catalisadores mais utilizados na unidade de isomerização, seja para o butano ou a nafta, como é o caso do esquema hipotético de refino proposto nessa dissertação, são aqueles que contenham platina ou cloreto de platina, suportados em alumina.

Assim como nas demais etapas de conversão do petróleo, quando estes catalisadores perdem sua atividade são retirados da unidade e trocados por catalisadores frescos, caracterizando então um resíduo a ser gerido. No caso do catalisador utilizado na isomerização, sua periculosidade está associada à presença de hidrocarbonetos tais como o benzeno e metais em sua composição química.

Com relação às argilas de tratamento utilizadas no processo de isomerização, cabe ressaltar de início que nem todas as unidades as utilizam em sua atividade. Esta argila é utilizada como uma substância adsorvente para purificar a carga de alimentação da unidade, visto que os processos que utilizam catalisador de cloreto de platina requerem purificação da carga, gerando assim resíduos de peneiras e alumina gasta e para purificar a corrente de hidrogênio que passa pelo processo para separar as parafinas da carga de alimentação ou do produto gerado. Os processos que comumente utilizam esta argila são: a filtração da fração aromática antes da destilação do benzeno e a filtração da corrente de benzeno puro.

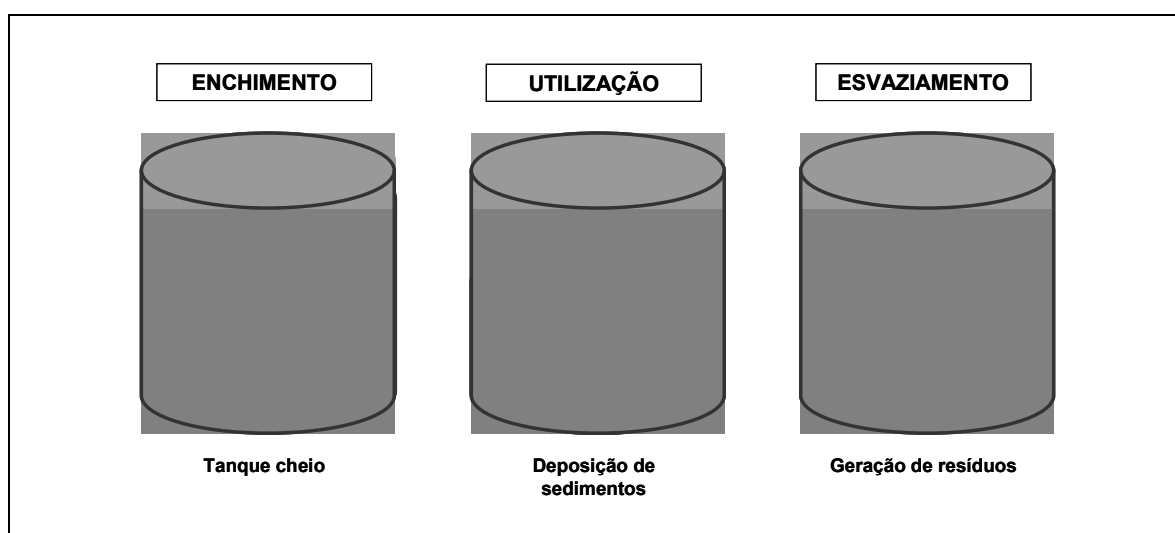
A periculosidade destes resíduos está associada à presença de hidrocarbonetos, tais como o benzeno, em sua composição química.

#### 4.1.1.7. Catalisador exausto da reforma catalítica:

Segundo Mariano (2001, p. 133) o catalisador exausto da reforma catalítica possui como constituintes perigosos os hidrocarbonetos presentes da corrente de alimentação e conseqüentemente os produtos originados das reações ocorridas no reator da reforma catalítica, dentre eles o benzeno, tolueno e o xileno, além dos metais presentes no catalisador, dentre eles a platina.

#### 4.1.1.8. Tanques de armazenamento – Lama de fundo:

Os tanques de armazenamento são utilizados em diversas etapas do refino para armazenagem de insumos e produtos. De maneira geral, a geração dos resíduos é devida a deposição de impurezas ao longo do período de utilização do tanques, com o enchimento e esvaziamento constante dos mesmos. Periodicamente estes tanques devem ser esvaziados para manutenção e limpeza. Neste momento os sedimentos são retirados na forma de lamas dos tanques, caracterizando a geração deste tipo de resíduos. A figura 09 a seguir ilustra o processo de geração destes resíduos. Para atender o intencionado por esta dissertação, apenas serão avaliados os sedimentos dos tanques de armazenamento de petróleo cru e os sedimentos dos tanques de armazenamento de gasolina, porém, cabe ressaltar que também há geração de resíduos com características similares a estes na armazenagem de outros derivados do processo de refino.



**Figura 09:** Esquema de geração dos sedimentos de tanques de armazenamento

No caso dos sedimentos dos tanques de armazenamento de petróleo cru, seus resíduos são gerados através da deposição de sedimentos no fundo dos tanques ao longo do período de utilização dos mesmos. Estes sedimentos são



constituídos por emulsões de sólidos, hidrocarbonetos pesados e água. Devido à presença de compostos tais como o benzeno, o tolueno, o etil-benzeno e o xileno, além do enxofre e de alguns metais em suas composições, estes sedimentos apresentam características perigosas e devem ser geridos de acordo com a NBR 10004.

Segundo Mariano (2001, p. 127), periodicamente estes tanques são esvaziados para que os sedimentos sejam removidos e para que sejam realizadas vistorias e reparos nos tanques. Logo estes resíduos devem ser geridos.

Assim como nos tanques de armazenamento de petróleo cru, os tanques de armazenamento de gasolina devem, periodicamente, ser esvaziados, limpos e inspecionados. A diferença entre os dois tipos de sedimentos gerados é a inexistência de hidrocarbonetos pesados no fundo dos tanques de gasolina.

Segundo Mariano (2001, p. 128), a composição básica destes sedimentos é ferrugem e os resíduos de crostas oriundas de dutos e reatores. A periculosidade dos mesmos esta associada à presença de hidrocarbonetos aromáticos (BTEX) e chumbo, quando trata-se de gasolina aditivada com chumbo.

#### 4.1.2. Geração de resíduos sólidos perigosos em processos auxiliares de refino

Por ser um processo extremamente complexo, o refino possui outras fontes de geração de resíduos sólidos perigosos além da produção de derivados. Estas fontes tendem a gerar volumes significativos de resíduos sólidos, são elas: o tratamento de efluentes, os trocadores de calor, o tratamento com soda caustica e a retirada de enxofre.

##### 4.1.2.1. Lamas da estação de tratamento de efluentes:

Devido ao grande potencial poluidor de sua atividade, as próprias refinarias de petróleo devem tratar seus efluentes, para tal, são construídas, em suas plantas industriais, estações de tratamento de efluentes.

Como visto, os efluentes tratados nas refinarias de petróleo são compostos por petróleo cru, derivados e produtos químicos, tais como os catalisadores, oriundos das unidades de refino. Logo, os efluentes são ricos em compostos orgânicos tais como hidrocarbonetos e fenóis, metais pesados, e sais.

A lama da estação de tratamento é gerada durante a etapa de biotratamento dos efluentes, seja através dos filtros biológicos, dos lodos ativados ou das lagoas de aeração.

#### 4.1.2.2. Lama dos trocadores de calor:

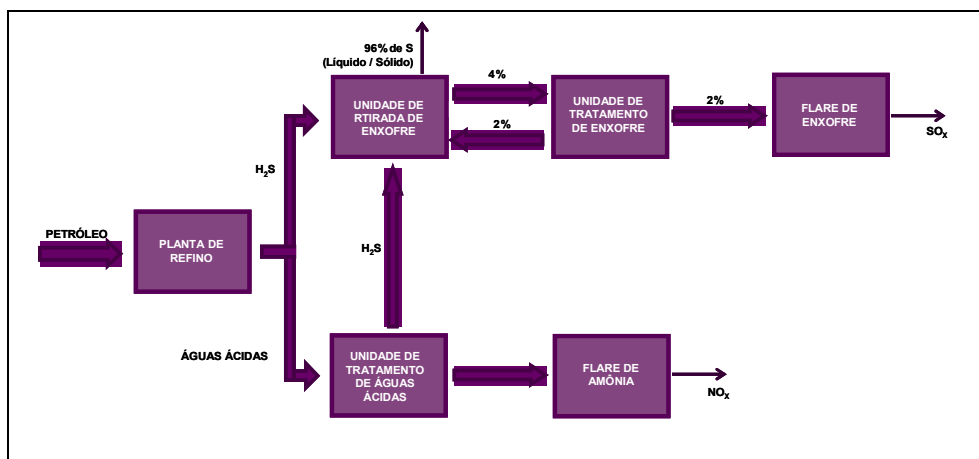
Como visto anteriormente, os trocadores de calor são instalados em diversos pontos da refinaria com o intuito de aquecer ou resfriar correntes dos processos de refino. Periodicamente os mesmos devem ser limpos, pois depósitos de lama e/ou resíduos de óleo podem obstruir a tubulação e reduzir a sua eficiência calorífica. Além da lama e do resíduo de óleo, é comum encontrar compostos de cromo e chumbo, parte proveniente de aditivos químicos usados no tratamento da água que circula nos trocadores de calor, sendo, de acordo com a NBR 10004, classificados como resíduos perigosos.

#### 4.1.2.3. Soda exausta:

O tratamento cáustico é um processo utilizado para tratamento de derivados das refinarias baseado na utilização de soda caustica. Como dito anteriormente este tratamento só é utilizado nos casos em que os produtos a serem tratados não possuam alto teor de enxofre. Este fato é devido ao alto valor da soda caustica e a alta reatividade da mesma ao enxofre. Periodicamente a soda exausta deve ser trocada por nova, caracterizando a necessidade de gerir estes resíduos.

#### 4.1.2.4. Resíduos de enxofre:

Os resíduos de enxofre são removidos em diversas unidades de refino, basicamente sob a forma de sulfeto de hidrogênio, que é então concentrado através de um processo cíclico de adsorção e dessorção através da utilização de uma solução aquosa de amina, este processo é conhecido como Claus. O catalisador gasto desta operação gera resíduos de enxofre e amina fora das especificações. O gás gerado no processo deve ser tratado através de hidrotreatamento, reduzindo assim os óxidos de enxofre a gás sulfídrico. A figura 10 a seguir ilustra um esquema de geração de resíduos de enxofre nas refinarias através dos processos descritos.



**Figura 10:** Esquema de geração de resíduos de enxofre nas refinarias. *Adaptado de MORAES, 2007, sl. 44.*

#### 4.1.3. Estimativa de geração de resíduos

Para efeito prático da pesquisa desta dissertação, fora analisado o inventário de resíduos da Refinaria de Duque de Caxias (REDUC) do ano de 2003, com o intuito de se avaliar a caracterização e o quantitativo de resíduos sólidos perigosos gerados. Pelo que foi possível constatar, a discriminação dos resíduos não segue o padrão normativo da NBR 10.004, por isso, a identificação prática e quantitativa dos resíduos dos resíduos torna-se deficiente, também não há discriminação dos resíduos de acordo com seus processos originários, forma de caracterização intencionada por esta dissertação.

Como pode se visto [na no tabelaQuadro 05](#) abaixo, consolidada das informações obtidas no inventário, houve, em 2003, a geração de:

**TabelaQuadro 05:** Estimativa de geração de resíduos sólidos na REDUC em 2003

°	RESÍDUO GERADO	QUANTIDADE (ton/2003)
1	Argila contaminada com óleo	1.508,57
2	Borra oleosa	58.678,72
3	Terra contaminada	3.398,45
4	Óxido de ferro	21,34
5	Refratários	35,00
6	Resíduos sólidos diversos	152,04
7	Coque do gasóleo	102,95

Ou seja, após a análise da [tabelaQuadro](#) acima, é possível constatar que não há muitas informações que possibilitem discriminar a tipologia dos resíduos gerados na REDUC, levando a crer que os diversos resíduos perigosos avaliados nesta pesquisa são agrupados e identificados somente como borra oleosa, apesar de possuírem diversas características que os diferenciem e oportunidades gerenciais que poderiam trazer benefícios ao empreendedor.

Pelas dificuldades encontradas para obtenção de valores de geração dos resíduos aqui avaliados, foi possível constatar deficiências nos modelos de gestão que hoje vigoram, tanto na gestão do empreendedor, quanto na gestão do Estado, que deveria, através de seu órgão ambiental, possuir controle atualizado da geração, do volume e da tipologia destes resíduos, fato que não ocorre.

Deveria ser de interesse do empreendedor caracterizar a geração seus resíduos de acordo com os processos originários, pois assim poderiam ser extraídos benefícios destes, assim como deveria ser de interesse do órgão ambiental cobrar o mesmo tipo de caracterização, para melhor controlar o fluxo de tratamento e destinação final dos resíduos, não deixando brechas para caracterizações equivocadas e fluxos de gestão que podem por em risco o meio ambiente e a sociedade.

Cabe ressaltar que, como mencionado anteriormente, o objetivo desta dissertação é estudar a gestão de resíduos, partindo da premissa que se deve conhecer o processo, a matéria prima e o produto final para melhor desenvolver o modelo de gestão.

Por tal, os tópicos de gestão a seguir foram desenvolvidos com base nos resíduos identificados através das unidades de refino que os originaram.

#### **4.2. Gestão dos resíduos gerados nas refinarias**

Todo modelo de gestão de resíduos deve ser adaptado ao tipo de atividade exercida pela indústria, devendo estar o foco deste modelo no estudo da origem do resíduo, na forma de seu armazenamento, nos métodos de gestão dos mesmos e na legislação local vigente. Os métodos e os modelos de gestão devem estar baseados em critérios éticos, ambientais, legais, normativos e financeiros.

A atual tendência mundial na gestão de resíduos está baseada no conceito de sustentabilidade, descrito anteriormente, no princípio do “poluidor pagador”, onde o gerador do foco de poluição é responsável financeiramente pelo dano ambiental que ocasionou, ou ocasionará com sua atividade, na avaliação dos impactos sócio-ambientais da disposição inadequada de resíduos e na co-responsabilidade adquirida com a terceirização de serviços. Outro importante fator que influencia os atuais modelos de gestão de resíduos é a tendência a maior rigidez das legislações ambientais pelo mundo, inclusive no Brasil. A figura 11 seguir ilustra os conceitos atuais que influenciam os modelos de gestão de resíduos com o intuito de extrair destes benefícios legais, sociais, econômicos e ambientais.



**Figura 11:** Atuais influências nos modelos de gestão resíduos. *Adaptado de Mariano, 2001, p. 28.*

Influenciados por estas atuais tendências mundiais, os Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) das empresas começam a adequar suas estratégias na gestão de resíduos. Para que esta adequação seja efetiva as empresas dependem do comprometimento de todos os níveis e funções e especialmente da alta administração (NBR ISO 14001, 2004, p. 03).

Quando afinado as tendências descritas, o SGA possibilita o desenvolvimento de uma Política Ambiental sólida nas empresas, com objetivos e processos estabelecidos em prol da melhoria do desempenho ambiental.

Para criar e fazer valer a Política ambiental de uma empresa de maneira eficiente é necessário, além do comprometimento da alta administração, que o SGA tenha sido desenvolvido com a utilização de ferramentas sólidas de gestão que possibilitem a melhoria contínua do sistema, seja através do desenvolvimento de objetivos e metas, da avaliação de resultados e da elaboração de ações corretivas e/ou preventivas (SILVA E NASCIMENTO, 2007, p. 45).

Sob esta linha de raciocínio, o ciclo PDCA é a ferramenta mais utilizada atualmente no gerenciamento e na qualidade das empresas. Originado da série ISO 9.000, o ciclo PDCA é uma ferramenta de gestão que objetiva controlar e obter resultados confiáveis e eficazes nas atividades de uma empresa, além de ser um eficiente modo de identificar um problema e apresentar sugestões de melhoria para o processo (NBR ISO 14.001, 2004, p. 7).

Se bem estruturado, o ciclo padroniza informações, previne erros e facilita a compreensão de informações (SILVA E NASCIMENTO, 2007, p. 57). A figura 12 abaixo esquematiza os principais aspectos desta ferramenta de gestão. Segundo Silva e Nascimento (2007, p. 58) O ciclo PDCA pode ser brevemente descrito da seguinte forma:

- **PLAN (Planejar):** Estabelecer os objetivos e processos necessários para atingir os resultados em concordância com a política ambiental da organização;
- **DO (Executar):** Implementar os processos;
- **CONTROL (Medir e Avaliar):** monitorar e medir os processos em conformidade com a política ambiental, objetivos, metas, requisitos legais e outros, e relatar os resultados;
- **ACT (Analisar criticamente e melhorar):** agir para continuamente melhorar o desempenho do sistema da gestão ambiental.



**Figura 12:** Ciclo PDCA como ferramenta de gestão. *Adaptado da ISO 14.001, 2004, pg. 06.*

Esta ferramenta pode ser utilizada nas empresas que almejem estabelecer, implementar, manter e aprimorar um SGA, garantindo a conformidade com a política ambiental, com a normatização vigente e a elaboração de estratégias harmônicas as atuais tendências de gestão de resíduos.

Baseado exposto até o presente, abordar os conceitos principais de Plano de Gerenciamento de Resíduos (PGR) é necessário para a presente pesquisa. Com o PGR é possível maximizar oportunidades e reduzir custos associados a gestão. (MANUAL FIRJAN, 2006, pg 9).

Segundo Juez (2002, p. 47), algumas questões devem ser analisadas durante a elaboração de um PGR nas refinarias de petróleo, sendo elas:

- Os resíduos devem ser separados segundo sua natureza físico-química, evitando-se assim dificuldades futuras para o seu tratamento. É de suma importância elaborar um inventário dos diferentes tipos de resíduos gerados, contendo, para cada tipo de resíduo, as seguintes informações:
  - Descrição dos resíduos;

- Quantidades geradas;
  - Origem dos resíduos;
  - Tratamento e a destinação final dos resíduos;
  - Tipo de armazenamento;
  - É possível reciclar este resíduo?
- 
- Os programas de minimização de resíduos podem e devem ser vistos como uma alternativa para reduzir ou até mesmo eliminar o volume de resíduo gerado e seus riscos potenciais à saúde humana, fauna e flora. Aplicação do conceito do 3R (Redução, Reutilização e Reciclagem) é uma ótima alternativa;
  
  - A minimização de resíduos pode e deve ser utilizada como uma ferramenta de gestão para o desenvolvimento de novos processos;
  
  - Serviços de tratamento, identificação, armazenamento e eliminação de resíduos, somente devem ser contratados depois que as empresas prestadoras destes serviços forem rigorosamente avaliadas e aprovadas pelos gestores ambientais das refinarias.
  
  - Devem ser estabelecidos procedimentos que garantam a total segurança ambiental em todas as etapas de gestão.
  
  - Os equipamentos utilizados na gestão dos resíduos devem ser escolhidos sob critérios técnicos, evitando riscos associados ao não cumprimento das normas aplicáveis;
  
  - Todos os trabalhos executados pelos gestores de resíduos devem ser documentados e formalizados mediante contratos.
  
  - As instalações onde ocorram as etapas de gestão dos resíduos devem ser periodicamente inspecionadas com o intuito de aferir os volumes e as características dos resíduos gerados.

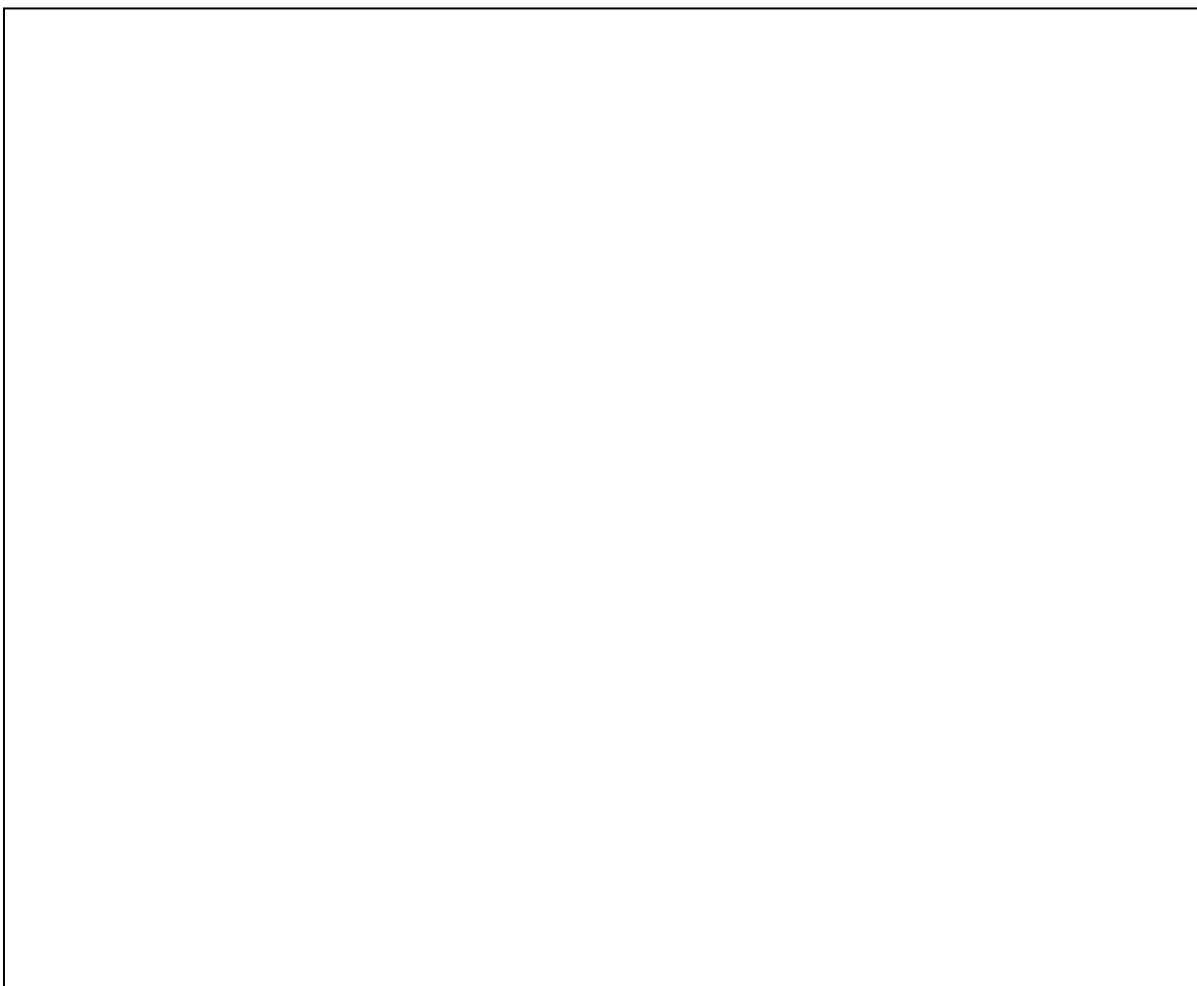


- As refinarias devem elaborar campanhas de conscientização e educação ambiental, além de estimular a coleta seletiva nos setores administrativos.

Segundo o manual de gerenciamento de resíduos da FIRJAN paginas 10 e 11, o fluxograma abaixo, ilustrado pela figura 13, adaptado ao processo de refino e as intenções desta pesquisa, compõe todas as etapas necessárias de uma PGR. Parte-se da premissa do conhecimento do processo que gera o resíduo, ou seja, da unidade de refino geradora, do tipo da carga que entrou na unidade e do produto do processo, assim, já são conhecidas previamente as características físicas e químicas destes resíduos, onde o resíduo já pode ser classificado de acordo com a NBR 10.004.

Caso estes resíduos sejam perigosos (Classe I), estes devem ser temporariamente armazenado, de acordo com a NBR 12.235/92 - Armazenamento de resíduos perigosos – Procedimentos, para então serem reciclados ou reutilizados, se possível, dentro da planta de refino, caso não seja, estes devem ser transportados, de acordo com a NBR 13.221 – Transporte terrestre de resíduos, para a reciclagem, reutilização, pré-tratamento ou tratamento fora da refinaria. Após avaliadas e aplicadas estas possibilidades, os resíduos devem então ser encaminhados para os aterros industriais.

Caso estes resíduos não sejam perigosos, estes devem ser armazenados temporariamente de acordo com a NBR 11.174/90 – Armazenamento de resíduos Classe IIA, não inertes, e IIB Inertes – Procedimentos, para que então sejam estudadas as possibilidades de reciclagem e reutilização dos mesmos, caso estes não sejam passíveis de reciclagem e reutilização, estes devem ser transportados de acordo com a NBR 13.221, para as unidades de pré-tratamento ou tratamento, para então ser encaminhado para os aterros industriais, local adequado para a disposição final dos mesmos.



**Figura 13:** Fluxograma de gerenciamento dos resíduos gerados nas refinarias.  
*Adaptado do Manual de Gerenciamento de Resíduos da FIRJAN, 2006, pg. 10 e 11.*

A luz dos conceitos propostos fica claro que a identificação, a caracterização e a classificação dos resíduos compreendem apenas o primeiro passo para a adoção de um modelo de gestão de resíduos eficiente. O monitoramento das características e quantidades destes resíduos destaca-se como outra etapa de extrema importância do modelo de gestão, pois auxiliam no controle dos riscos associados ao seu transporte, armazenamento e disposição, como também são premissas básicas para aguardar melhores soluções sobre o que se deve fazer com eles, caso ainda não haja uma.

Como pode ser verificado na figura acima, após a caracterização e classificação dos resíduos gerados nas refinarias, passam a ser estudadas as

possibilidades para estes resíduos, sejam estes perigosos ou não. Pelo exposto a reciclagem e a reutilização fazem parte da possibilidade de gestão destes resíduos, por tal, é interessante caracterizar os programas de minimização de resíduos baseados nos 3R's, assim como os conceitos recentes de logística reversa associados a estes programas.

No caso da impossibilidade de aproveitamento destes resíduos nos programas de minimização ou nos canais reversos, melhor discutidos posteriormente, parte-se para o estudo da necessidade ou não de tratamento destes resíduos, sendo apresentadas diferentes técnicas aplicadas à realidade brasileira. Cabe ressaltar que a adoção de uma técnica ou metodologia de tratamento depende do tipo de resíduo e das condições gerenciais da empresa, principalmente no que diz respeito aos custos envolvidos.

Caso este resíduo não careça de tratamento, ou já tenha tratado e precisa ser disposto, este tem como destino final seu envio à aterros industriais, que serão descritos futuramente na presente pesquisa.

#### 4.2.1. Minimização de resíduos

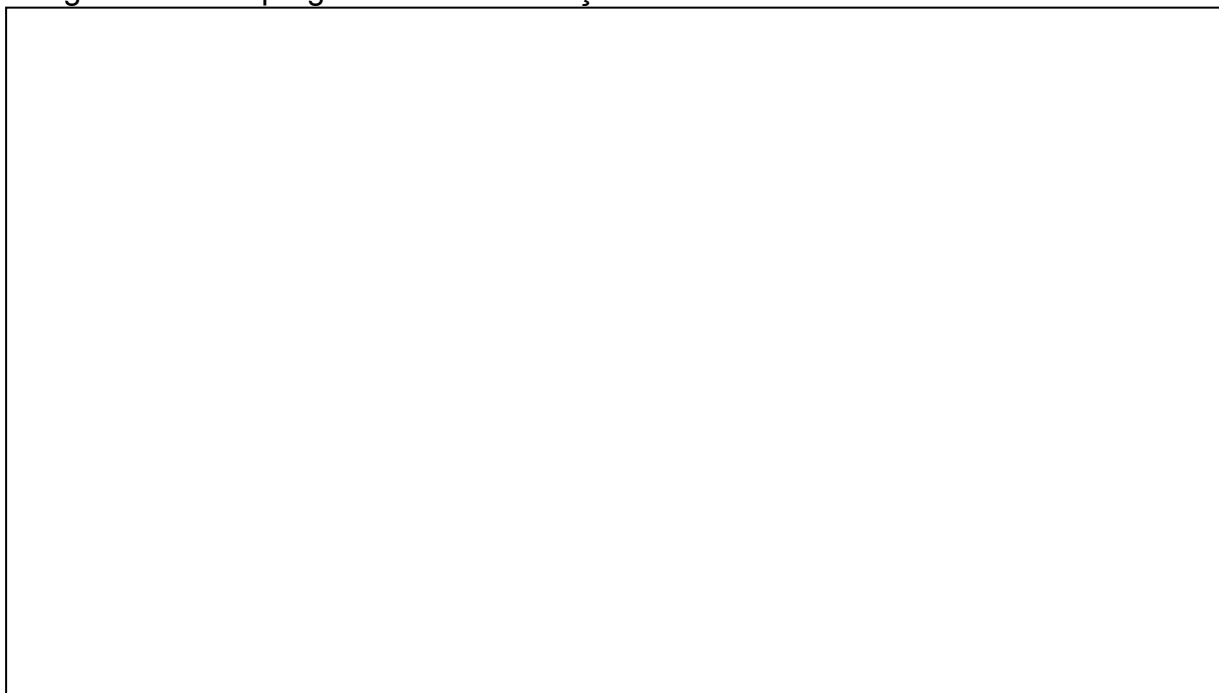
A etapa de minimização de resíduos engloba diversos procedimentos que objetivam reduzir o volume e a periculosidade dos resíduos gerados. O intuito principal é aumentar a proteção ambiental do modelo de gestão e reduzir custos com o menor volume de tratamento e disposição final dos resíduos.

O conhecimento de todas as etapas do processo industrial é indispensável para a elaboração, adoção e funcionamento de um programa de minimização de resíduos. Quando bem elaborado e gerido, um programa com este certamente trará benefícios ambientais e gerenciais para qualquer empreendimento industrial que gere grandes volumes de resíduos, inclusive as refinarias.

Uma questão problemática para a implementação de um programa de minimização de resíduos, é a possibilidade, ou a real necessidade, de substituição ou adequação da matéria-prima utilizada, fato que interfere diretamente na cultura de produção, não sendo este o caso da pesquisa proposta. Em alguns casos, a adequação de maquinário e de técnicas operacionais também tornam-se questões problemáticas pois exigem investimentos.

Segundo Ritter (2006, p. 9) um programa de minimização de resíduos pode ser desenvolvido sob três pilares distintos, a reciclagem, o reaproveitamento e a

redução na fonte geradora, conforme ilustrado na figura 14 abaixo, que apresenta o fluxograma de um programa de minimização de resíduos.



**Figura 14:** Fluxograma de minimização de resíduos. *Adaptado de Ritter, 2006, p. 9.*

#### 4.2.1.1. Reciclagem:

Reciclagem é o aproveitamento como matéria prima de um material que já foi utilizado, fazendo com que um novo produto seja fabricado e um novo ciclo de vida seja criado para este produto. A reciclagem tem grande potencial de preservação ambiental, pois, em alguns setores, pode reduzir a necessidade de utilização de recursos naturais como insumo de produção, bem como reduzir a carga poluidora de alguns procedimentos industriais.

Porém, a análise de viabilidade ambiental de um processo de reciclagem deve ser muito cuidadosa, pois, em alguns casos, a utilização de materiais reciclados ou a adoção de processo de reciclagem, podem ser mais prejudiciais ao meio ambiente do que se fosse utilizada a matéria prima ou o processo tradicional. Parte desta preocupação advém da premissa que a qualidade dos produtos reciclados tende a ser inferior, muitas vezes não justificando comercialmente a reciclagem.

#### 4.2.1.2. Reaproveitamento:

O Reaproveitamento consiste simplesmente na reutilização de resíduos com a mesma finalidade que o gerou ou alguma outra finalidade de nulo impacto ambiental. O reaproveitamento torna-se uma excelente ferramenta de gestão a partir do momento que a reutilização do material torna-se viável tanto ambientalmente quanto economicamente.

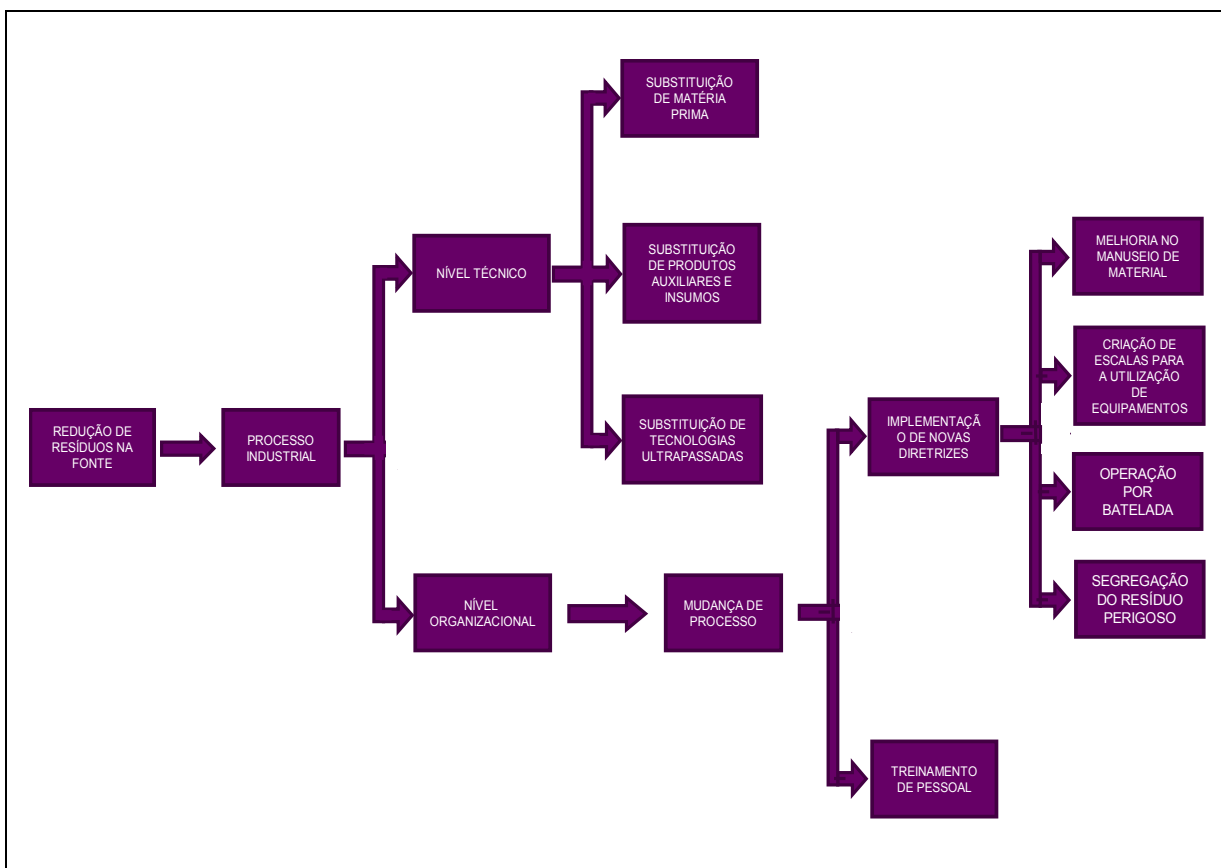
Para caracterizar o reaproveitamento, este material deve ser transformado em insumo de produção sem que passe por qualquer tipo de alteração química de sua estrutura, ou seja, sem que o mesmo passe por qualquer processo complexo de transformação.

O reaproveitamento é uma ferramenta muito importantes dentro de um sistema de gerenciamento de resíduos pois tende a aumentar o ciclo de vida do material, atribuindo-lhe novas formas de utilização e postergando seu prazo de disposição final no meio ambiente.

#### 4.2.1.3. Redução na fonte geradora:

Durante a implantação de um programa de minimização de resíduos, a redução na fonte é, sem dúvida, o procedimento mais importante. Através de modificações em etapas do processo industrial é possível reduzir o volume de resíduo produzido, ou até mesmo torna-lo insignificante, dependendo da eficiência do processo.

A redução na fonte pode ocorrer através de diversas práticas distintas, dependendo apenas das condições gerenciais para a adoção de um modelo. Porém, segundo Ritter (2006, p. 11) as metodologias que apresentam os melhores resultados ocorrem em dois níveis distintos dentro de uma indústria, o técnico e o organizacional. As práticas de melhor resultado em nível técnico são a substituição de matéria-prima, de insumos auxiliares e de tecnologias ultrapassadas por tecnologias mais limpas. Já a nível organizacional, a prática de melhor resultado é a mudança de processos, conforme ilustra a figura 15 abaixo.



**Figura 15:** Fluxograma de redução na fonte geradora. *Adaptado de Ritter (2006, p 11)*

Um dos principais problemas associados à gestão dos resíduos perigosos é que, se não houver um tratamento prévio, as características de patogenicidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade de alguns resíduos poderão ser mantidas em qualquer fase de sua existência, fato que caracteriza um grande problema para uma gestão ética e consciente destes resíduos. Precauções com os impactos sócio-ambientais e com baixa conscientização de produtores e consumidores, são algumas medidas básicas e muito necessárias a serem trabalhadas nesta modalidade de gestão, por isso a minimização de geração de resíduos se faz tão necessária.

#### 4.2.2. Programa de minimização de resíduos nas refinarias de petróleo

Adaptadas ao processo de refino existem diversas técnicas para minimização dos resíduos perigosos gerados, tais como a utilização de substâncias desmulsificadoras, a utilização de misturadores, a otimização de processos e etc. A seguir são correlacionados aos resíduos perigosos já descritos anteriormente as práticas mais comuns na indústria do refino para a minimização de sua geração.

- Lama de dessalinização: Dentre as técnicas de minimização deste resíduo destacam-se a utilização de substâncias desemulsificadores ou de precipitadores eletrostáticos associados a misturadores.
- Resíduos do coqueamento retardado: Quando estes não são comercializados junto ao coque, seus finos são recuperados com a utilização de água. Para tal, é comum a instalação de filtros nas canaletas de esgoto e a manutenção da unidade, bem como a utilização de hidrociclones.
- Catalisador exausto do craqueamento catalítico: Para a minimização destes resíduos deve-se pensar na otimização do processo e da qualidade da carga que adentre nela, assim seria possível aumentar a vida útil do catalisador, reduzindo sua frequência de substituição.
- Catalisador exausto do hidrocraqueamento catalítico e do hidrotratamento: A minimização destes resíduos está associada à possibilidade de reutilização do catalisado em outra etapa do refino, seja novamente no hidrotratamento ou no hidrefino, desde que estas novas operações exijam menor atividade de quebra molecular e não processem nafta, visto que, por possuir sílica, envenena o catalisador.
- Lama e catalisador da alquilação: Para a minimização destes resíduos, utilizam-se as seguintes técnicas: redução da quantidade de óleo presente no ácido sulfúrico gasto; a utilização de novos processos de alquilação e o uso de agentes de neutralização solúveis.
- Resíduos da Isomerização: Com relação ao catalisador exausto da isomerização, para controle à poluição gerada a partir deste resíduo destaca-se a possível otimização do processo através da retirada dos contaminantes do catalisador que podem adentrar na unidade através da carga para a mesma, tais como a água e o ácido sulfídrico. Segundo Mariano (2001, p. 134), este catalisador é reciclado quase que em sua totalidade, devido à necessidade de recuperação dos metais com valor comercial presentes na sua composição.

- Catalisador exausto da reforma catalítica: Para a minimização deste resíduo, assim como para outras unidades mencionadas anteriormente, a melhor estratégia, segundo Mariano (2001, p. 134) é a otimização da operação e das correntes que alimentam o processo, aumentando assim a vida útil do catalisador, reduzindo sua frequência de substituição.
- Tanques de armazenamento: Lama de fundo: Para que seja reduzida a geração de resíduo nos tanques de armazenamento, são adotadas algumas técnicas de prevenção nas refinarias, dentre elas destaca-se o uso de misturadores nos tanques de armazenamento, a reciclagem dos sedimentos em outras unidades da refinaria, como por exemplo a destilação, o coqueamento e o craqueamento catalítico, o aumento da eficiência das etapas de lavagem e maior controle contra derramamentos acidentais de óleo.
- Lamas da estação de tratamento de efluentes: Otimizar o processo de tratamento de efluentes é decisivo para a minimização dos volumes gerados, cabe ressaltar que algumas tecnologias de tratamento biológico geram menores quantidades de lodos do que outras, cabe ao gestor ambiental da refinaria adotar aquele que apresente melhor viabilidade financeira e ambiental.
- Lama dos trocadores de calor: Assim como para o catalisador exausto da reforma catalítica e do craqueamento catalítico, a técnica mais utilizada para a minimização da lama dos trocadores de calor é a otimização dos processos, através de um maior controle das cargas que passam pelos mesmos.
- Soda exausta: O tratamento cáustico pode ser substituído pelo hidrotratamento no caso de alguns derivados. Ou seja, para a minimização de geração de soda caustica nas refinarias, a melhor técnica é a substituição de tecnologia e otimização dos processos, reduzindo assim a necessidade de utilização de soda, restringindo a utilização deste, somente aqueles produtos e processos nos quais é indispensável.



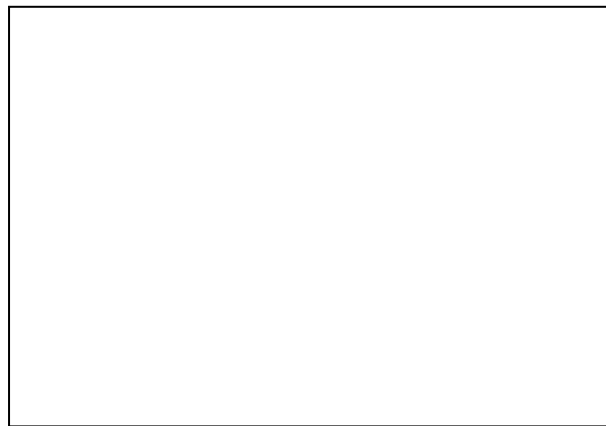
- Resíduos de enxofre: Como visto, o enxofre é extraído em diversas etapas do processo de refino através da utilização de catalisador a base de amina. A redução do resíduo de amina gasta envolve a modificação dos processos e a reciclagem da solução, além da instalação de filtros, de coletores, que capturam a amina drenada dos filtros.

#### 4.2.3. Logística reversa

Segundo Ribeiro & Gomes (2004):

Logística é o processo de gerenciar estrategicamente a aquisição, movimentação e armazenamento de materiais, peças e produtos acabados, sua distribuição, pela organização e pelos seus canais de marketing de modo a poder maximizar as lucratividades presentes e futuras por meio de atendimento dos pedidos a baixo custo. (GUARNIERI, 2005, p. 3)

A figura 16 a seguir esquematiza de forma sintética os dois principais objetivos da logística segundo Guarnieri (2005, p. 3).



**Figura 16:** Principais objetivos da logística. *Adaptado de Guarnieri (2005, p 03)*

A luz das pesquisas de LEITE (2005), formam-se os conceitos principais de logística reversa que serão abordadas na presente pesquisa. Logística reversa é definida pelo autor como:

Área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros. (LEITE, 2005, p.16).

Pelo exposto, entende-se que a logística gerencia o fluxo e a estratégia de saída dos produtos das empresas, e a logística reversa gerencia o fluxo e a estratégia de retorno destes produtos, ou parte deles, à empresa, seja após o fim de seu ciclo de vida ou não.

Para a dissertação proposta, a logística reversa pode ser interpretada como uma ferramenta de gestão a ser utilizada no gerenciamento dos resíduos perigosos gerados na operação das refinarias de petróleo. Através das definições e modelos propostos por Leite (2005), é possível adquirir ferramentas teóricas sólidas para a formulação de esquemas de fluxo reverso de alguns resíduos que tenham potencial para serem reintegrados ao ciclo produtivo ou de negócios da indústria do petróleo, seja através da reciclagem, do desmanche, do reuso ou comercialização dos mesmos como insumos para a própria refinaria ou para outra indústria.

Portanto, entende-se que a logística reversa, através de seus fluxos reversos, objetiva tornar possível o retorno dos bens ou de seus materiais constituintes ao ciclo produtivo ou de negócios. Ou seja, a intenção é agregar valor, seja ele econômico, ambiental ou legal, através do planejamento de fluxos reversos e das informações obtidas com a operação destes, através de processos logísticos de consolidação, separação e seleção, até a sua reintegração total ou parcial ao ciclo de negócios da indústria. (LEITE, 2006, p. 17).

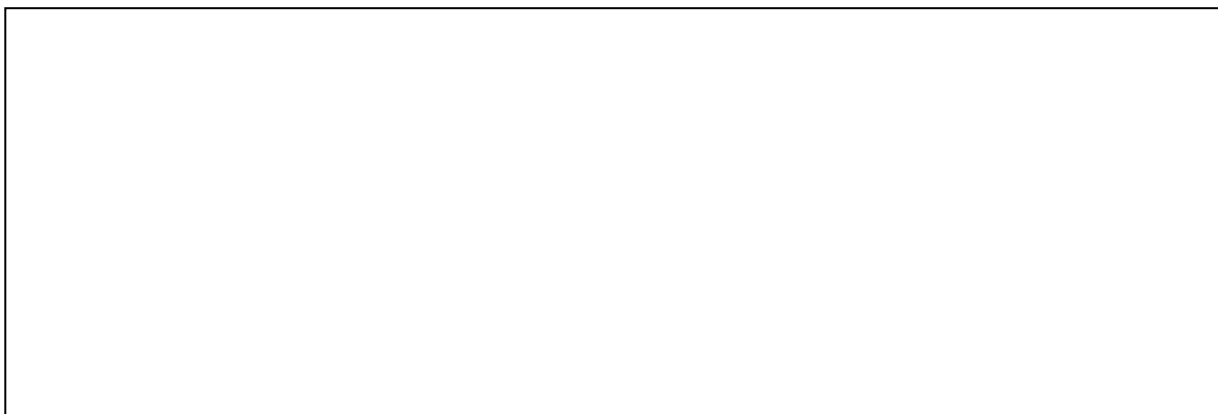
Para melhor avaliar o potencial da logística reversa na gestão de resíduos das refinarias, cabe destacar alguns conceitos que compõem a mesma. Em sua definição, Leite propõe que a mesma planeja, controla e opera o fluxo e as informações logísticas do retorno ao ciclo de negócios dos bens de pós-venda e de pós-consumo.

Para o autor, bens de pós-venda são aqueles que por diversos motivos retornam ao ciclo de negócios, por meio de diversas formas de comercialização e de processamento. Esses produtos retornam por uma variedade de motivos, dentre eles o fim de sua validade, estoques excessivos nos canais de distribuição, por apresentarem problemas e defeitos e etc. (LEITE, 2006, p. 06). Depois de devolvidos estes são destinados a mercados secundários, a processo de reforma, desmanche, reciclagem ou, quando não há meios de revalorá-los, dispor-los em aterros sanitários ou outra metodologia de destinação final.

Já os bens de pós-consumo são aqueles produtos industrializados que apresentam ciclos de vida útil definido, que quando extintos, são descartados pela

sociedade de diferentes maneiras, caracterizando o pós-consumo e os resíduos sólidos (LEITE, 2006, p. 05).

A figura 17 a seguir ilustra os principais objetivos da logística reversa descritos até o presente momento da pesquisa.



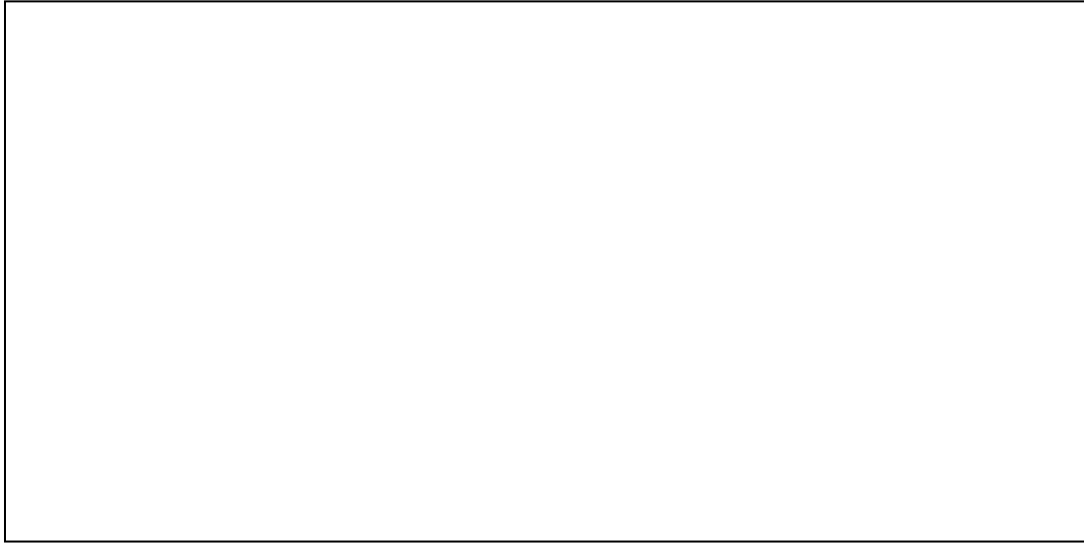
**Figura 17:** Representação esquemática dos objetivos da logística reversa.

Com o intuito de ilustrar a relação entre logística e a logística reversa, a figura 18 a seguir, exemplifica de forma sucinta, pelas setas roxas, a extensão do gerenciamento logístico e pelas setas verdes o gerenciamento da logística reversa. Até então, no Brasil, as setas azuis não fazem parte da estratégia logística das indústrias.

No esquema proposto, o estudo logístico compreende dentro da premissa de maximização de lucros e minimização de custos a busca por insumos e suprimentos, a produção e organização do chão de fábrica, o estoque e a distribuição destes produtos para o mercado consumidor, entre outras ações.

A logística reversa vislumbra possibilidades de reintegração de bens ao ciclo das indústrias, seja no pós venda, com o retorno de produtos para a fábrica devido à defeitos, excesso de estoques e etc, seja no pós-consumo com a reutilização ou reciclagem do resíduos industriais dentro da própria indústria, ou com sua comercialização integral ou parcial com industrias que possam utiliza-los como insumo.

O esquema evidencia ainda a possibilidade de aplicação da logística reversa à resíduos oriundos do mercado consumidor, principalmente através do canal de reciclagem, sendo fabricado novo produto, com novo ciclo de vida.



**Figura 18:** Esquema comparativo de fluxos de ação da logística e da logística reversa

Como a intenção da presente pesquisa é estudar a aplicabilidade da logística reversa na gestão de resíduos perigosos gerados nas refinarias de petróleo, os conceitos de logística reversa de pós-consumo devem ser aprofundados.

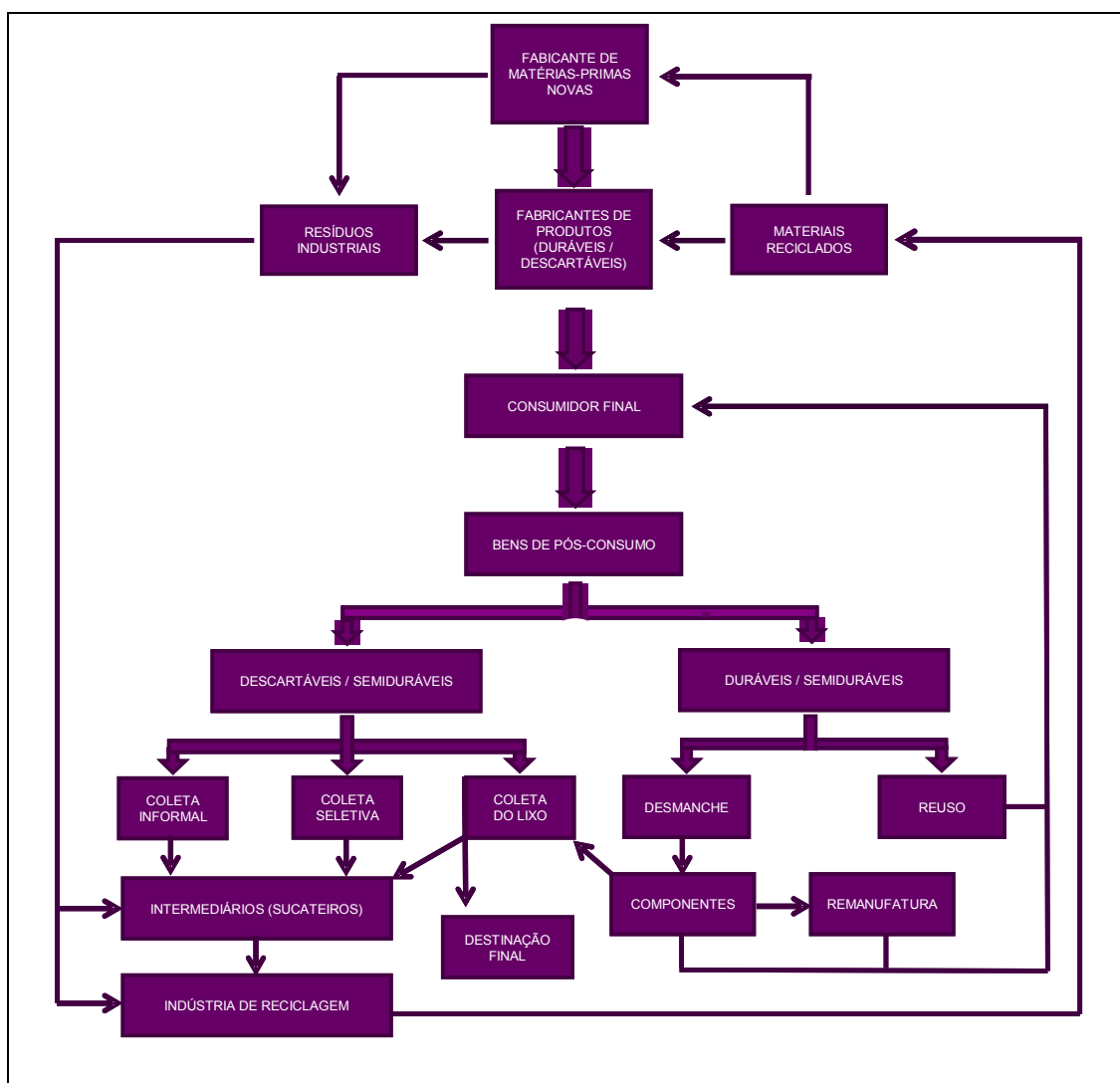
#### 4.2.3.1. Logística reversa de pós-consumo.

Após serem caracterizados como bens de pós-consumo, os resíduos devem ter suas formas de processamento e de comercialização estudadas, seja integralmente, ou de seus constituintes em separado. Este estudo abrange as possibilidades de reintegração do produto, desde seus canais de coleta até sua reintegração ao ciclo, sendo este canal conhecido como de distribuição reversos de pós-consumo.

Os canais de distribuição reversos de pós-consumo são constituídos pelo fluxo reverso de uma parcela de produtos e de materiais constituintes originados no descarte dos produtos após finalizada sua utilidade original e que retornam ao ciclo produtivo de alguma maneira. Distinguem-se dois subsistemas reversos: os canais de reciclagem e os canais reversos de reuso. [...] a possibilidade de uma parcela destes produtos de pós-consumo ser dirigida a sistemas de destinação final seguros ou controlados, que não provocam poluição, ou não seguros, que provocam impactos maiores sobre o meio-ambiente (LEITE, 2005, p. 05 e 06)

Utilizada como ferramenta de gestão, a logística reversa de pós-consumo têm como principal objetivo estratégico criar, através dos fluxos reversos, meios para agregar valor a um bem de pós-consumo. Segundo Leite (2005, p. 12) os bens de

pós-consumo podem originar bens duráveis ou descartáveis, que poderão fluir por distintos canais reversos, sendo eles de reuso, desmanche ou reciclagem, até a sua destinação final, conforme pode ser visto na figura 19 abaixo.



**Figura 19:** Esquema de fluxos reversos de bens de pós-consumo. *Adaptado de Leite (2006, p. 47)*

Um bem durável é composto por uma série de componentes com diferentes ciclos de vida e que poderão ser substituídos ao longo da vida do bem, em canais reversos distintos (LEITE, 2006, p.54). Conforme pode ser visto na figura 11, os canais reversos dos bens duráveis são o desmanche e o reuso. O canal de desmanche é adotado a partir do momento que o ciclo de revalorização do bem não opere mais com benefícios, caracterizando o fim de sua vida útil, assim este bem passa para o canal de desmanche, sendo encaminhado para o processo industrial

de reciclagem, a re-manufatura eventual de componentes e a destinação destes ao mercado secundário. Já o canal de reuso é caracterizado a partir do momento que exista interesse e vantagem comercial no uso integral do bem, podendo ser utilizado dentro da indústria geradora ou comercializado como produto de segunda mão.

Os bens descartáveis geralmente não podem ser reutilizados, sendo então encaminhados aos canais de reversos de lixo urbano ou reciclagem através da coleta do lixo urbano, da coleta seletiva ou da coleta informal, caso não sejam coletados constituem uma fonte potencial de poluição.

Os resíduos industriais, dentre eles aqueles gerados nas refinarias de petróleo, tendem a apresentar melhor qualidade para serem aproveitados nos canais reversos do que os demais bens de pós-consumo. Segundo Leite (2006, p. 75) os resíduos industriais não deveriam ser caracterizados como bens de pós-consumo devido a sua forma organizada de comercialização, a sua melhor qualidade, a grande e constante quantidade de geração, a sua separação prévia na fonte dos demais resíduos, geralmente de acordo com a sua natureza. Estas características permitem que os gestores possam planejar os negócios dos canais reversos e, conseqüentemente, gerar lucro.

#### 4.2.3.2. Reintegração ao ciclo produtivo

A reintegração ao ciclo produtivo das indústrias, inclusive das refinarias de petróleo, ocorre quando os materiais reciclados, resíduos, sobras de processo e etc. passam a ser utilizados no lugar das matérias-primas novas, trazendo algum tipo de vantagem para as indústrias. Segundo Leite (2006, p.78) este tipo de ação gerencial pode trazer algumas vantagens para as indústrias, dentre elas:

- Menores preços;
- Utilização em casos de escassez da matéria-prima nova;
- Economia de consumo de energia elétrica, vapor, água e etc.;
- Economia de insumos de qualquer natureza;
- Possibilidade de subsídios especiais ao seu uso; e
- Vantagem mercadológica devido a melhorar a imagem da empresa.

Apesar das vantagens apresentadas, é rara a utilização integral de matérias-primas recicladas nos processos industriais. Geralmente, o material reciclado tende a retornar em frações da matéria-prima nova ao ciclo produtivo das indústrias. Em

muitas indústrias, este fato é devido à disponibilidade inconstante dos materiais, além da pouca qualidade de alguns materiais reciclados.

#### 4.2.3.3. Objetivos dos canais reversos de pós-consumo

Segundo os conceitos propostos por Leite, os objetivos dos canais reversos de pós-consumo são basicamente três, os econômicos, os ambientais e os legais.

Os objetivos econômicos resumem-se a possibilidade de revalorização econômica do produto de pós-consumo, seja através do seu reaproveitamento na própria indústria, de forma integral ou parcial, da economia obtida com a sua utilização ou da comercialização destes com outras indústrias, para que estes sejam usados como matéria-prima de outro processo. Existe ainda o caso no qual o bem, ou os componentes do bem, oferece condições tecnológicas de remanufatura, logo, para esta situação, o objetivo é a revalorização do bem.

Segundo Leite (2006, p. 124) a revalorização ambiental dos bens de pós-consumo, parte do princípio que estes seriam fontes de poluição. Para as empresas, para as indústrias, assim como para toda sociedade, a revalorização ambiental destes produtos acarretaria na redução de custos associados ao tratamento e a disposição final dos mesmos, além de, para as empresas, caracterizar vantagem competitiva no investimento no marketing ambiental de sua atividade.

Na realidade, cabe ressaltar que, por não possuir hoje uma maneira exata de se quantificar custos ambientais, a revalorização ambiental destes produtos tenderia a ultrapassar as questões financeiras e de imagem corporativa, a proteção ambiental, quando avaliada de maneira teórica, não é quantificável, logo os benefícios de sua prevenção também não.

As empresas começam a enxergar, através de sua responsabilidade social, qual a extensão e o impacto de sua atividade na sociedade e no meio ambiente, e com isso passam a entender que devem ser responsáveis por seus produtos mesmo após o fim do seu ciclo de vida. Segundo Leite (2006, p.142), a tendência atual é a Responsabilidade Extendida do Produto (REP), na qual a empresa continua responsável pelo seu produto até sua disposição final, com isso, sua imagem é preservada quanto a possíveis problemas ambientais de sua atividade, e conseqüentemente, sendo uma fonte potencial de geração de receita devido a grande competitividade do mercado e a atual tendência de conscientização ambiental dos consumidores.

Quanto aos objetivos legais dos canais reversos, Leite (2006, p. 161) propõe

que:

[...] quando as condições naturais do mercado não propiciam eficiente equilíbrio entre os fluxos reversos e os fluxos diretos, faz-se necessário a intervenção da legislação governamental, de modo que sejam alteradas as condições e seja permitido um melhor equacionamento do retorno dos bens de pós-consumo e de seus materiais constituintes. (LEITE, 2006, p. 161)

A partir deste ponto, onde a legislação ambiental torna-se mais restritiva e incentivadora da operação dos canais reversos, a revalorização legal dos bens de pós-consumo virá através do cumprimento das legislações ambientais. Hoje, com a clara tendência do REP as legislações sobre o impacto dos produtos ao meio ambiente enfatizam que a responsabilidade sobre o produto vendido não termina mais com a sua venda, mas sim com o fim de sua vida útil, ou seja na sua destinação final. (LEITE, 2006, p. 161).

#### 4.2.3.4. A potencialidade da logística reversa na gestão de resíduos perigosos das refinarias

Cabe ressaltar que um planejamento reverso utiliza os mesmos processos que um planejamento convencional, tanto em serviço, armazenagem e transporte, quanto nos sistemas de informações da empresa, sendo, segundo Mueller (2005, p.3) a logística reversa um novo recurso para o aumento da lucratividade das empresas. Porém, o foco do desenvolvimento de um sistema reverso na gestão de resíduos não deve ser apenas contemplar às questões financeiras, questões sociais, ambientais e empresarias também devem ser contempladas. Para o funcionamento de um fluxo reverso é indispensável o comprometimento gerencial, não apenas devido às já citadas questões financeiras, mas também na importância da questão ambiental agregada a gestão de resíduos.

É importante frisar que, independente do destino dado ao resíduo, à intenção principal da logística reversa é agregar-lhe valor, seja econômico, ambiental, legal ou estratégico, desde que ocorra em um sistema ambientalmente seguro.

O potencial da logística reversa em sua aplicação na gestão de resíduos das refinarias esta relacionado ao grande volume de material produzido como subproduto do refino, material este que pode ser reaproveitado através dos canais reversos de pós-consumo. Dentre estes subprodutos destacam-se o enxofre, o ácido acético, o ácido fosfórico, os metais agregados ao óleo cru e alguns catalisadores.

Estes resíduos devem ser previamente tratados e recuperados, para então



serem reutilizados dentro das instalações das próprias refinarias ou até mesmo comercializados com outras indústrias, introduzindo o conceito de ciclo fechado para o processo de gestão destes resíduos. Estes resíduos apresentam valor comercial, logo poderiam, através dos canais reversos de pós-consumo de reuso ou de reciclagem, representar nova fonte de receita e proteção ao meio ambiente com sua reintegração ao ciclo produtivo.

#### 4.2.4. Tratamento e destinação final dos resíduos

Apesar dos programas de minimização de resíduos auxiliarem na redução do volume gerado, sempre haverá uma fração de resíduo a ser tratada e disposta. Para a gestão dos resíduos propostos nesta dissertação, às metodologias de tratamento podem ocorrer através de processos biológicos, físicos, químicos ou térmicos, e a disposição final em solo, basicamente através do acondicionamento em aterros industriais.

##### 4.2.4.1. Tratamento dos resíduos sólidos gerados nas refinarias:

Os resíduos perigosos tendem a ser persistentes dentro do meio ambiente. Segundo Cornwell (1991, p. 36) este fato é devido à falta de capacidade dos organismos naturais existentes de produzir as enzimas necessárias para processar essas substâncias.

Porém, algumas destas substâncias podem ser degradadas por microorganismos específicos, como ocorre em filtros biológicos. O problema acerca do processo biológico de tratamento esta relacionado à sua baixa eficiência na redução de periculosidade associada aos metais pesados presentes nos resíduos, muito menor se comparado a outros elementos químicos.

Os processos físico-químicos de tratamento consistem basicamente em separar os resíduos perigosos das soluções aquosas que os contém. Os resíduos continuam perigosos após a separação, mas são recuperados ou concentrados para tratamentos futuros.

Já os processos químicos têm como premissas as diversas reações químicas possíveis, como a oxidação e a redução de compostos, neutralização de ácidos e bases e a remoção de metais pesados por meio de precipitação entre outras.

Outra forma bastante eficaz de tratar resíduos perigosos é através da utilização de processos térmicos. Os processos térmicos tendem a inertizar

totalmente os compostos perigosos, além de reduzir drasticamente o volume ser disposto.

Para a Environmental Protection Agency (EPA), tratamento de um resíduo perigoso compreende:

[...] qualquer método, técnica ou processo que provoque mudanças de caráter físico ou biológico da composição desse resíduo, transformando-o em resíduo não perigoso, seguro para o transporte, adequado para reutilização, armazenamento, ou que lhe reduza o volume (www.epa.gov).

Após a pesquisa para a presente dissertação, pode-se concluir que os métodos de tratamento de resíduos mais utilizados hoje na indústria são: a secagem e a desidratação de lodos, a incineração, a estabilização, a solidificação, o landfarming, a biorremediação, a fitorremediação, o co-processamento e o plasma. Todos estes, além de alguns desdobramentos dos mesmos.

#### a) Estabilização e solidificação;

Ambas as técnicas são consideradas como metodologias de pré-tratamento de resíduos, seus objetivos principais são:

- Melhorar as características físicas e de manuseio dos resíduos;
- Reduzir a área superficial por onde possa ocorrer migração dos poluentes;
- Restringir a solubilidade dos elementos perigosos;
- Retirar a toxicidade dos elementos perigosos.

A estabilização é um pré-tratamento onde os elementos perigosos de um resíduo são transformados em compostos menos tóxicos e menos solúveis. As alterações ocorrem através de reações químicas, que retém os constituintes tóxicos em polímeros impermeáveis ou cristais estáveis (RITTER, 2007, p.34).

A solidificação é um pré-tratamento que produz um bloco de resíduo tratado, aprimorando as características físicas e a estrutura, de modo a facilitar o manuseio, o transporte do resíduo e ainda a sua preservação na forma sólida, pelo tempo necessário à sua degradação (RITTER, 2007, p.34).

A adoção de uma técnica de pré-tratamento irá depender das características físicas do resíduo, de sua composição, de sua quantidade, dos locais de geração e disposição final. Segundo descrito no manual de gerenciamento de resíduos da Firjan (2006, p. 08) não é qualquer tipo de resíduo que pode ser submetido à essas metodologias de pré-tratamento.

Este tipo de tratamento é mais adequado para resíduos inorgânicos, normalmente em soluções aquosas, contendo quantidades expressivas de metais pesados ou sais inorgânicos.

Os processos de estabilização e solidificação podem ocorrer através de:

- *Fixação inorgânica*: Se adiciona cimento, cal, silicatos e argilas aos resíduos;
- *Encapsulamento*: Através da utilização de materiais termoplásticos como o betume, o asfalto e o polietileno. Quando aquecidos, tornam-se plásticos, moldando-se a fôrmas e ao resfriarem tornam-se rígidos, encapsulando os resíduos.

O quadro 06 abaixo, agrupa as principais vantagens e desvantagem, verificadas na elaboração da presente pesquisa, associadas à aplicação das metodologias de estabilização e solidificação para o pré-tratamento de resíduos perigosos gerados nas refinarias.

**Quadro 06:** Vantagens e desvantagens da estabilização e da solidificação

VANTAGENS	DESVANTAGEM
Reduz a área superficial	Não "trata", apenas melhora suas características para que seja realmente tratado ou disposto.
Melhora as características físicas	
Restringe a solubilidade	

b) Secagem e desidratação de lodos;

Conforme descrito na NBR 10004, os diversos resíduos gerados nos processos industriais também podem ser semi-sólidos, este é o caso de diversos resíduos gerados no refino, que apresentam forma similar a um lodo ou um lama. O tratamento ou disposição deste lodo deve ocorrer em instalações localizadas dentro ou fora da área da indústria. Considerando que o custo de transporte é função do volume a ser transportado e da distância, reduzir o volume pode trazer vantagens econômicas.

Portanto, aplicar processos de secagem e desidratação de lodos pode ser interessante para as refinarias. Além disso, para a disposição em aterros industriais, é necessário que o material tenha um teor de umidade abaixo de 70%, com o intuito

de reduzir a geração futura de lixiviado e garantir a estabilidade física do aterro. Segundo Ritter (2007, p. 32), os métodos mais comumente empregados para a secagem e a desidratação de lodos são: centrifugação, filtragem em filtros-prensa, filtragem a vácuo e leitos de secagem.

- *Centrifugação*: O processo consiste na separação da fase sólida da fase líquida através da simples centrifugação do lodo. O processo é bastante limpo, e possui um custo relativamente baixo. A utilização da centrifugação torna-se vantajosa por não precisar de grandes áreas para operar, porém, devem ser tomadas algumas precauções durante a instalação e manutenção do equipamento, pois o mesmo pode gerar ruídos e vibrações.
  
- *Filtros prensa*: Nas indústrias brasileiras o processo de filtragem é o mais utilizado (RITTER, 2007, p. 27) . Existem alguns tipos de filtro-prensa fornecidos por vários fabricantes, como, por exemplo, de placas e de cinto.
  - *Filtro-prensa de placa*: É constituído por placas verticais côncavas, que, quando próximas, formam um vazio entre elas, onde o lodo se acumulará. Normalmente as placas apresentam ranhuras em sua superfície, por onde serão drenados os líquidos filtrados. Os sólidos ficam retidos em mantas de tecido filtrante, posicionadas sobre as superfícies ranhuradas.
  - *Filtro-prensa de cinto*: Produzem lodos com teor de umidade de 60%, porém possuem menor capacidade de processamento que os processos anteriores. As vantagens de sua utilização são restritas ao menor consumo de energia se comparado ao filtro-prensa de placa.
  
- *Filtragem a vácuo*: Se comparado aos demais processos de secagem e desidratação de lodos, a filtragem a vácuo é processo que obtêm o lodo mais seco, e conseqüentemente um menor volume de resíduos a ser gerido (RITTER, 2007, p. 29). Este processo é o mais adequado para grandes quantidades de lodo, sendo comumente adotado em grandes instalações industriais.
  
- *Leitos de secagem*: Este processo é comumente aplicado para tratamento de quantidades reduzidas de lodos, ou seja, adequado para pequenas e medias

instalações industriais. Os leitos de secagem retiram a umidade do lodo, reduzindo seu volume e alterando suas características físico-químicas. A secagem ocorre através da drenagem dos líquidos por gravidade e por evaporação no espelho d'água. Comumente, os leitos de secagem são constituídos por tanques rasos, com fundo levemente inclinado composto de solo, alvenaria ou concreto. A filtragem dos resíduos ocorre através de um filtro de cascalho e areia construído sobre este fundo. Sobre este filtro são dispostos tijolos rejuntados com areia fina, para que possa ser realizada a retirada do lodo, mantendo a integridade do filtro. A desvantagem principal deste processo é a necessidade de grandes áreas, a maior vantagem está na possibilidade de utilização de mão-de-obra pouco especializada.

O quadro 07 a seguir, relaciona três vantagens e uma desvantagem da utilização da secagem e desidratação de lodos como metodologia de tratamento de resíduos gerados nas refinarias.

**Quadro 07:** Vantagens e desvantagens da secagem e desidratação de lodos

VANTAGENS	DESVANTAGEM
Redução do volume	Não "elimina" os resíduos.
Melhora as características físicas	
Baixo custo	

c) Incineração:

Outra metodologia muito eficiente utilizada para o tratamento de resíduos perigosos são os incineradores. Esta metodologia parece tecnicamente excelente, pois reduz drasticamente o volume de resíduo a ser disposto além inertiza-lo. Porém, algumas ressalvas devem ser feitas a sua utilização, dentre elas, a temperatura atingida na câmara de incineração dever ser suficiente para tornar o resíduo totalmente inerte, procedimento de grande complexidade devido à diversidade físico-química dos resíduos.

Os resíduos a serem incinerados podem ser sólidos, líquidos ou pastosos. As suas características e seu comportamento durante a combustão determinam como

devem ser misturados, estocados e introduzidos na zona de queima. Alguns líquidos poderão ser facilmente destruídos, enquanto outros devem ser inseridos através de uma corrente de gás quente ou borrifados diretamente sobre a chama. Nesta situação, novas substâncias tóxicas podem ser formadas através do craqueamento molecular. Devido a isto, sistemas de controle são exigidos, dentre eles destacam-se o controle de temperatura a ser atingida e o tempo de exposição (RITTER, 2006, p. 30).

Quando resíduos contendo enxofre, flúor, cromo, bromo e iodo são incinerados geram um efluente gasoso com estes mesmos elementos poluidores. Para eliminá-los, os gases devem ser lavados. O efluente líquido gerado é conduzido para tratamento de efluentes.

Nas últimas décadas este processo passou a ser largamente utilizado para o tratamento de resíduos perigosos. Este fato deveu-se principalmente às contaminações no ambiente geradas pela disposição inadequada de materiais tóxicos não degradáveis, altamente persistentes. Normalmente estes materiais são solventes e óleos não passíveis de recuperação, defensivos agrícolas halogenados e produtos farmacêuticos. Quando projetados para queimar materiais tóxicos ou perigosos, os incinerados necessitam de sistemas específicos para o controle de poluição atmosférica e hídrica, obviamente exigindo maiores investimentos.

As unidades de incineração podem ser instalações pequenas, projetadas e dimensionadas para um determinado resíduo, e operadas pela própria indústria geradora, ou grandes instalações industriais, para incinerar vários tipos de resíduos.

Dentre outras ressalvas a serem feitas, destacam-se a necessidade de disposição final ambientalmente segura das cinzas geradas no processo de queima, além da necessidade de existência de um sistema de controle ambiental dos poluentes atmosféricos gerados durante a incineração, e de seu custo, da ordem de R\$ 750,00 por tonelada.

A escolha da área na qual o incinerador será instalado também é de suma importância. Geralmente os incineradores não são aceitos com facilidade pela sociedade devido ao medo de explosão, à poluição atmosférica e ao aumento significativo do trânsito de caminhões na região.

Como vantagens verificadas na presente pesquisa da técnica de incineração temos a total degradação dos resíduos, a aplicabilidade de diversos tipos de resíduos e a redução de volume e como desvantagens temos o alto custo, de

aproximadamente R\$ 750,00, a necessidade de controle atmosférico e a necessidade de disposição de cinzas, sub-produto do processo, conforme quadro 08 abaixo.

**Quadro 08:** Vantagens e desvantagens da incineração

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Degrada completamente os resíduos	Alto custo (Aprox. R\$ 750/tonelada)
Aplicável a diversos tipos de resíduos	Necessidade de controle atmosférico
Reduz significativamente o volume	Necessidade de disposição de cinzas

d) Landfarming:

A metodologia do landfarming objetiva, através do uso de técnicas agrícolas, tais como a aeração mecânica e a adubação química, aumentar a ação decompositora de microrganismos presentes no solo, para então tratar resíduos que contenham frações sólidas e aquosas *in situ*. O espalhamento do material, especialmente o oleoso, sobre o solo e a incorporação dos mesmos na camada arável, influencia diretamente a taxa de atividade dos microrganismos responsáveis pela biodegradação dos resíduos.

Ou seja, a biodegradação microbiana, que é o mecanismo primário de eliminação dos poluentes orgânicos do ambiente, compõe a base deste tratamento, sendo de grande importância à manutenção de uma comunidade microbiana heterotrófica ativa. (SIQUEIRA, 2005, p. 3)

Porém, segundo Siqueira (2005, p. 3) *“a aplicação de lodo de refinaria de petróleo para tratamento pode, inicialmente, favorecer a biomassa microbiana, a respiração basal e a atividade enzimática porém com o tempo e o uso prolongado pode haver diminuição desses indicadores, retornando a níveis próximos do solo, sem aplicação do resíduo”*.

As técnicas de landfarming podem ser usadas para tratar resíduos perigosos, em especial lamas oleosas, compostas por óleo, sedimentos e água (PEPPER, 2001, p. 144). As taxas de aplicação dos resíduos não devem ser tão baixas que exijam grandes áreas e nem tão altas que sobrecarregue os microrganismos do solo fazendo decair a taxa de degradação.

A figura 20 a seguir apresenta um esquema de operação da metodologia, onde é possível verificar a estrutura necessária para operação e segurança ambiental desta metodologia de tratamento.



**Figura 20:** Esquema de operação da metodologia de “landfarming”  
*Adaptado do site:* <http://www.nmenv.state.nm.us/ust/remed-4.html>

Alguns componentes químicos merecem atenção especial na aplicação desta metodologia, especialmente aqueles que contenham mercúrio, que não será destruído, tendendo a acumular no solo.

Fertilizantes a base de fósforo e nitrogênio são adicionados as lamas oleosas para otimizar as relação carbono/nitrogênio e carbono/fósforo. Assim, se a disposição dos resíduos for gerenciada de forma cuidadosa e correta, o landfarming é uma pratica ecologicamente correta para o tratamento e a destinação final dos resíduos perigosos gerados nas refinarias.

Após a presente pesquisa, foram verificadas três vantagens principais da aplicação do landfarming para o tratamento dos resíduos perigosos gerados nas refinarias, são elas o baixo custo, da ordem de R\$ 140,00 o metro cúbico, a biodegradação completa dos poluentes orgânicos e a ótima aplicabilidade à resíduos oleosos, como desvantagens temos a necessidade de controle operacional na disposição dos resíduos para que os microorganismos do solo não sejam sobrecarregados, a não adaptabilidade a resíduos que possuam mercúrio e metais



pesados e a necessidade de aterros industriais para dispor o sub-produto do processo, conforme quadro 09 a seguir.

**Quadro 09:** Vantagens e desvantagens do landfarming

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Baixo custo (Aprox. R\$ 140/m <sup>3</sup> )	A aplicação de resíduos deve ser cuidadosa
Biodegrada os poluentes orgânicos	Não se adapta a resíduos que possuam Hg
Trata resíduo perigosos (Lamas oleosas)	Carece de aterros para dispor o produto

O custo de tratamento de resíduos perigosos, com as características daqueles gerados nas refinarias de petróleo, pela presente metodologia é de aproximadamente R\$ 140,00 por metro cúbico.

e) Biorremediação:

Biorremediação é uma técnica de remediação de solos muito utilizada em solos contaminados com compostos orgânicos semi-voláteis baseada na utilização de microorganismos (bactérias e fungos) específicos para a eliminação de componentes tóxicos dos poluentes através de atividades metabólicas (BAIRD, 2006, p. 527).

A biorremediação parte do princípio da decomposição, que pode ser dividido em duas fases distintas, acidogênica e metanogênica (BAIRD, 2006, p.527). Na fase acidogênica, bactérias acidófilas e acetogênicas, solubilizam os metais pesados e matéria orgânica presentes no poluente produzindo entre outros ácidos, o ácido acético. Já na fase metanogênica, bactérias metanogênicas e acetotróficas consomem os ácidos produzidos na fase acidogênica tendo como produto principal o biogás.

Com a conseqüente alteração do pH do solo devido às reações bioquímicas estimuladas pelas bactérias, a tendência é que os metais pesados precipitem e atinjam formas menos solúveis, logo mais estáveis.

Segundo Baird (2006, p. 527), para que esta técnica funcione eficientemente, três condições principais devem ser atendidas:

- Os microorganismos apropriados para o tipo de poluente devem estar disponíveis;

- O pH, a temperatura, a concentração de oxigênio e etc. no solo devem ser adequados para o trabalho dos microorganismos;
- Os poluentes no solo devem estar acessíveis para os microorganismos e serem suscetíveis a degradação biológica.

Como vantagens da utilização da técnica de biorremediação para o tratamento em solo dos resíduos gerados nas refinarias de petróleo destacam-se a estabilização de compostos que possuam metais pesados, a decomposição de compostos orgânicos e o seu baixo custo, da ordem de R\$ 200,00 por metro cúbico. Como desvantagens destacam-se a necessidade de adaptação do microorganismo ao poluente a ser degradado, além da necessidade de aterro industrial para a destinação do solo tratado e de adequação física e química do solo ao microorganismo que irá degradar os poluentes.

O quadro 10 abaixo lista as principais vantagens e desvantagens do tratamento de resíduos no solo através da biorremediação.

**Quadro 10:** Vantagens e desvantagens da biorremediação

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Estabilização de compostos com metais pesados	O microorganismo deve estar adaptado ao poluente a ser degradado.
Decomposição de compostos orgânicos	Carece de disposição final do solo tratado
Baixo custo (Aprox. R\$ 200,00/m <sup>3</sup> )	As condições físicas e químicas do solo devem estar adaptadas ao microorganismo

#### f) Fitorremediação:

A fitorremediação é uma tecnologia de descontaminação “*in situ*” de solos, sedimentos e corpos hídricos com a utilização de espécies vegetais capazes de, ao longo de seu desenvolvimento, retirar metais pesados e poluentes orgânicos do solo ou da água.

Esta metodologia pode ocorrer de 3 maneiras distintas. A primeira é pela degradação dos poluentes através da ação conjunta do oxigênio e de enzimas liberadas pela raiz da planta. A segunda é pela absorção e acumulação dos poluentes nos tecidos das plantas através de suas raízes. A terceira maneira ocorre

através da ação de fungos e microorganismos presentes na raiz da planta que reagem com os poluentes do ambiente degradando-os (MILLER, 2006, p.464).

A fitorremediação pode ser classificada de acordo com as características físico-químicas do poluente em questão e da técnica que será utilizada para a degradação do mesmo, por isso, pode compreender a fitoextração, fitoestabilização, fitodegradação, fitoestimulação, rizofiltração, fitovolatização, as capas vegetais, as barreiras hidráulicas e os açudes artificiais (BAIRD, 2006, 528).

Como vantagens da utilização da técnica de fitorremediação para o tratamento dos resíduos gerados nas refinarias de petróleo destacam-se o baixo consumo de água e energia para sua operação, a simplicidade de estabelecimento da metodologia, o baixo custo, da ordem de R\$ 200,00 por metro cúbico. Como desvantagens destacam-se a lentidão do processo, podendo demorar meses para o crescimento das espécies vegetais, a possibilidade de tornar tóxicas algumas plantas e a limitação da eficiência do processo à profundidade que atingir a raiz.

O quadro 11 abaixo lista as vantagens e desvantagens da metodologia de fitorremediação.

**Quadro 11:** Vantagens e desvantagens da fitorremediação

<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
Baixo consumo de água e energia	Processo lento de degradação
Simple operacionalização	Algumas plantas podem tornar-se tóxicas
Baixo custo (Aprox. R\$ 200/m <sup>3</sup> )	A eficiência é limitada a prof. que a raiz atinge

g) Co-processamento:

O Co-processamento pode ser interpretado como uma técnica de reaproveitamento de resíduos. Segundo Ritter (2007, p. 15) consiste basicamente em utilizar os resíduos sejam eles orgânicos ou inorgânicos, como combustível na indústria de cimento ou como matéria prima na indústria de cerâmica.

A primeira etapa do co-processamento é a produção de clínquer, que é o produto da mistura de argila com calcáreo, aquecido até 1450°C, e posteriormente resfriada (RITTER, 2007, p. 15). É dentro dos fornos de clínquerização que resíduos tais como serragem, óleos usados, borras oleosas, solventes petroquímicos e pneus são utilizados como combustíveis.

Devido à necessidade de manutenção de alta temperatura no interior do forno para gerar o clínquer, vários tipos de resíduos industriais podem ser utilizados no processo. De acordo com Ritter (2007, p. 16) após passar por este processo, os resíduos industriais serão incorporados ao cimento, caso eles sejam orgânicos, serão termicamente destruídos, caso sejam inorgânicos serão totalmente inertizados. Ou seja, ou estes resíduos já inertizados comporão a estrutura química do cimento, ou serão retidos no sistema de controle atmosférico. Segundo Ritter (2007, p.17) as indústrias de cimento geram o mesmo volume de emissões, utilizando ou não resíduos no seu processo.

Como vantagens deste processo destacam-se a eliminação de resíduos que seriam descartados no meio ambiente e a economia de recursos naturais tais como combustíveis fósseis para aquecimento dos fornos.

Outra grande vantagem do co-processamento é o reaproveitamento de resíduos contendo metais tóxicos, como o arsênio, o cromo, o cobre, o chumbo, o mercúrio e etc., ou metais com potencial poluidor como o alumínio, o manganês, o magnésio, o sódio e etc., visto que estes são os únicos resíduos que não podem ser alterados ou destruídos por métodos químicos ou térmicos (RITTER, 2007, p. 17).

Como desvantagens temos principalmente a necessidade de controle atmosférico e as restrições quanto a utilização de resíduos sem poder de queima.

O quadro 12 abaixo lista as vantagens e desvantagens citadas.

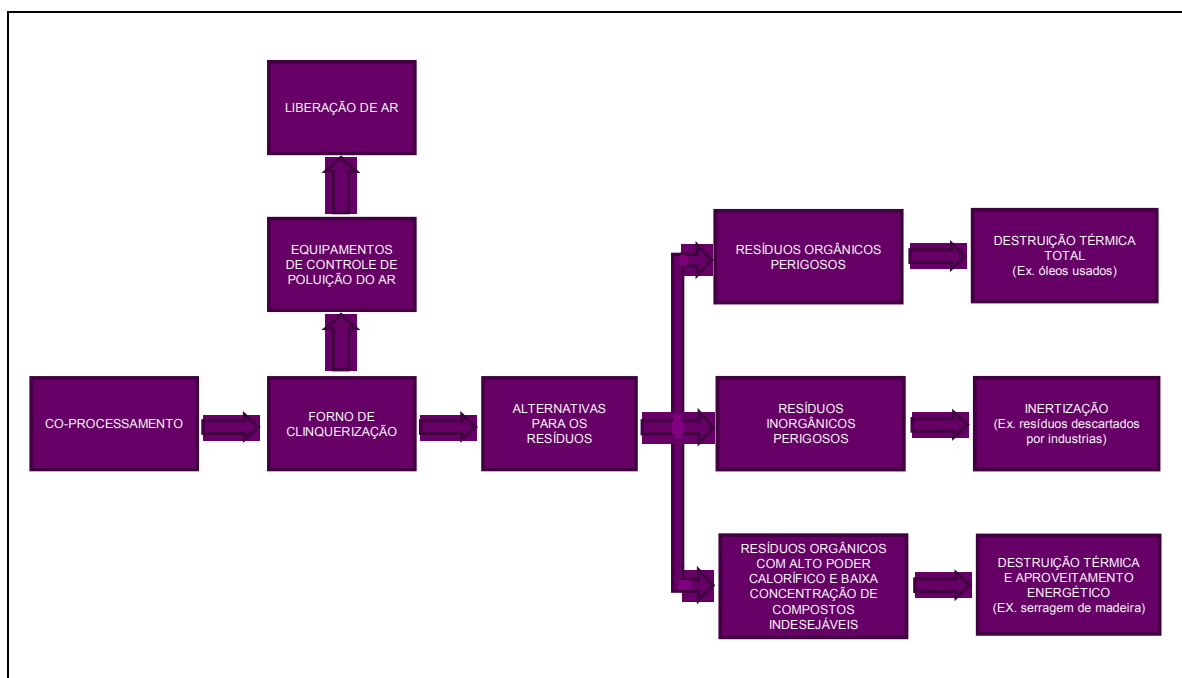
**Quadro 12:** Vantagens e desvantagens do co-processamento

<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
Baixo custo (Aprox. R\$ 380/tonelada)	Necessidade de controle atmosférico
Reaproveitamento energético de resíduos	Restrições quanto ao tipo de resíduo
Não gera cinza	–

A utilização dos resíduos sólidos gerados nas refinarias de petróleo no co-processamento em fornos de cimento vem representando uma nova e lucrativa alternativa para ambas as indústrias. Devido aos grandes volumes de resíduos

gerados no refino do petróleo, resíduos estes com grande potencial de queima, a indústria cimenteira se interessa por introduzi-los em seu processo, pois os mesmos aumentam o rendimento térmico da clínquerização, já que possuem ótimas características químicas para geração e manutenção da temperatura de operação do forno.

Em 2009, o custo de tratamento de resíduos perigosos, com as características daqueles gerados nas refinarias de petróleo, pela metodologia de co-processamento é da ordem de R\$ 380,00 a tonelada. A figura 21 abaixo resume o aproveitamento de 3 tipos de resíduos na metodologia de co-processamento.



**Figura 21:** Fluxograma de operação do co-processamento em fornos de cimento.

h) Plasma

*Adaptado de Ritter (2006, p 16)*

O plasma pode ser entendido como o estado de um gás (ar, argônio, nitrogênio, hidrogênio, hélio, oxigênio, etc.), quando este está parcialmente ionizado e aquecido através de energia elétrica, de forma que atinja altas temperaturas (variante entre 5.000 e 50.000°C, de acordo com a capacidade tecnológica da planta). Esta tecnologia tornou-se possível a partir do momento em que foi descoberta a boa condutividade elétrica e a alta viscosidade destes gases nestas condições (MENEZES, 1999, p. 2).

O estado de plasma do gás é criado e mantido através das tochas de plasma, similares aos queimadores utilizados em fornos industriais. A função desta tocha,

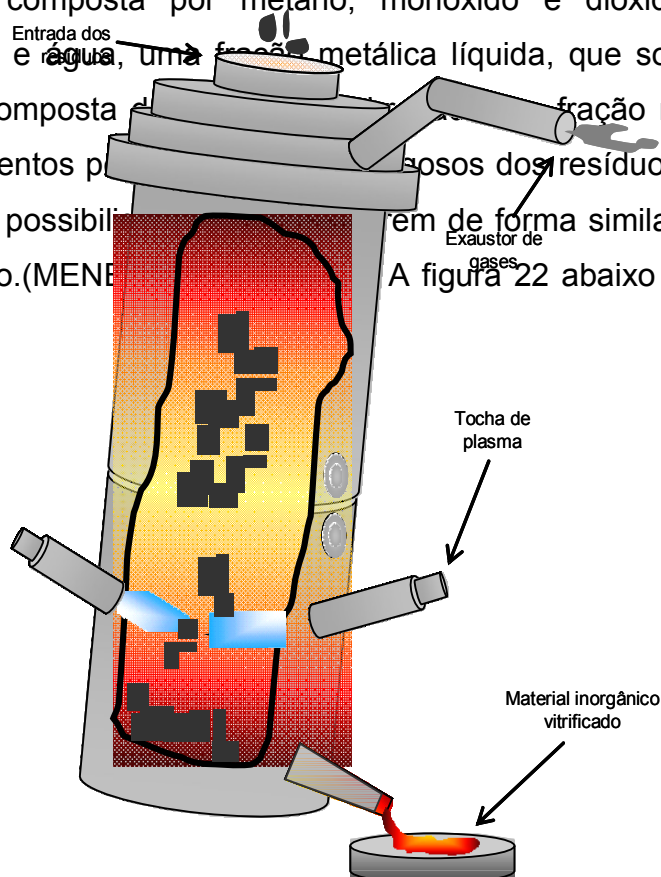
segundo Menezes (1999, p. 3) é transformar a energia elétrica em calor através de uma gás, sendo a eficiência deste processo da ordem de 90%.

A técnica de plasma pode tratar diversos tipos de resíduos industriais, que contenham ou não metais pesados, como exemplo destaca-se o lodo galvânico, as cinzas de incineração, os catalisadores petroquímicos exaustos, as borras industriais e etc.

Ainda segundo Menezes (1999, p. 5) existem basicamente dois tipos processos para o tratamento de resíduos por plasma, sendo eles o aquecimento direto ou através do processamento em duas câmaras.

No aquecimento direto, através da tocha de plasma, é gerado um campo de energia que induz a dissociação molecular dos resíduos, ou seja, a tocha de plasma cria condições que simplificam a estrutura química dos resíduos. Já no processamento em duas câmaras, os resíduos a serem tratados colocados na primeira câmara para fundir totalmente a fração inorgânica e gaseificar a fração orgânica. Os produtos gasosos e líquidos desta etapa serão então vertidos para a segunda câmara, onde através do reator de plasma serão tratados da mesma forma que no processamento em uma câmara. (MENEZES, 1999, p. 7)

Como produto do tratamento através do plasma será gerado uma fração gasosa, geralmente composta por metano, monóxido e dióxido de carbono, hidrogénio, nitrogénio e água, uma fração metálica líquida, que solidificará e uma fração sólida vítrea composta por elementos pesados dos resíduos tratados ficam encapsulados, sem a possibilidade de escape em de forma similar ao que ocorre no co-processamento. (MENEZES, 1999, p. 7)



**Figura 22:** Câmara de Plasma. Adaptado de: <http://science.howstuffworks.com/plasma-converter.htm/printablexxxx>

Como vantagens do processo de tratamento via plasma nos temos a vitrificação de alta dureza dos produtos, a grande redução do volume dos resíduos (superior a 90%) e a rápida e total queima das substâncias orgânicas, que são fundidas ao material inorgânico vitrificado. Como desvantagens deste processo temos a necessidade de um sistema de lavagem de gases com a capacidade de retenção de metais voláteis e gases ácidos e seu alto custo (da ordem de R\$ 1.300,00 por tonelada), visto que so se torna economicamente viável quando associada a recuperação energética e a total disponibilidade de resíduos para alimentar o processo (MENEZES, 1999, p.7), conforme quadro 13 a seguir.

**Quadro 13:** Vantagens e desvantagens do plasma

<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
Vitrificação de alta dureza dos produtos	Necessidade de controle atmosférico
Grande redução de volume (Aprox. 90%)	Alto custo (Aprox. R\$ 1300/tonelada)
Rápida e total queima dos orgânico	So é viável com recuperação energética

#### 4.2.4.2. Disposição final dos resíduos – Aterros industriais:

Os aterros de resíduos industriais perigosos são similares aos aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. A diferença entre os dois tipos de aterros

está na maior precaução ambiental durante a construção e a operação dos mesmos. Dentre estas precauções, destacam-se as relativas ao sistema de impermeabilização superior e inferior, que devem ser mais eficiente, com o intuito de evitar a formação e o vazamento de lixiviado. Além desta precaução, também destacam-se a incompatibilidade química de alguns resíduos, não permitindo que os mesmos sejam dispostos juntos e a necessidade de um maior monitoramento ambiental da área de influência do aterro.

No Estado do Rio de Janeiro, a Fundação Estadual de Engenharia de Meio Ambiente (FEEMA), estabelece as diretrizes para a gestão, transporte, tratamento e destinação final de resíduos sólidos. Segundo a diretriz 1313 da FEEMA, relacionada à impermeabilização inferior e superior de aterros de resíduos industriais perigosos, aterro industrial é definido como:

[...] a alternativa de destinação de resíduos industriais, que se utiliza de técnicas que permitam a disposição controlada destes resíduos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública, e minimizando os impactos ambientais. Essas técnicas consistem em confinar os resíduos industriais na menor área e volume possíveis, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho ou intervalos menores, caso necessário. (FEEMA, DZ 1313, 2001, p.2)

A figura 23 abaixo sintetiza os objetivos técnicos da disposição de resíduos em aterro industriais.



**Figura 23:** Objetivos técnicos da disposição final em aterros industriaisxxxxx



A disposição final de resíduos sólidos perigosos em aterros industriais exige uma prévia análise de fatores condicionantes. A correta disposição destes resíduos exige conhecimento das propriedades e características do solo sobre o qual será depositado, bem como do próprio resíduo, além das condições hidrogeológicas da região.

Portanto, sobre esta ótica, um sistema de impermeabilização de aterros sanitários deve apresentar as seguintes características:

- Estanqueidade;
- Compatibilidade com os resíduos a serem aterrados;
- Resistência mecânica;
- Resistência a intempéries;
- Durabilidade.

Hoje, os modelos mais modernos de impermeabilização em aterros utilizam múltiplas barreiras de proteção ao meio-ambiente. Estes modelos compreendem estudos mais detalhados das condições hidrogeológicas naturais da região e da pesquisa de materiais artificiais para a utilização dos mesmos nas camadas impermeabilizantes e no sistema de coleta e tratamento do lixiviado.

Segundo a DZ 1313, para a escolha de um local ambientalmente seguro para a construção de aterros industriais perigosos, devem ser atendidos alguns critérios, dentre eles:

- Deverão ser selecionadas, preferencialmente, áreas naturalmente impermeáveis, para construção de aterros de resíduos industriais. Estas áreas se caracterizam pelo baixo grau de saturação, pela relativa profundidade do lençol freático e pela predominância, no subsolo, de material argiloso com coeficiente de permeabilidade menor ou igual a  $1,0 \times 10^{-7}$  centímetros/segundo;
- Não será permitida a instalação de aterros em áreas inundáveis, em áreas de recarga de aquíferos, em áreas de proteção de mananciais, mangues e habitat de espécies protegidas, ecossistemas de áreas frágeis ou em todas aquelas definidas como de preservação ambiental permanente, conforme legislação em vigor;

- Não será permitida a instalação de aterros em áreas onde haja predominância no subsolo, de material com coeficiente de permeabilidade superior a  $1,0 \times 10^{-4}$  centímetros/segundo;
- Deverão ser respeitadas as distâncias mínimas, estabelecidas na DZ-1.311, a corpos d'água, núcleos urbanos, rodovias e ferrovias, quando da escolha da área do aterro;
- Não será permitida a construção de aterros em áreas cujas dimensões não possibilitem uma vida útil para o aterro igual ou superior a 20 (vinte) anos, conforme definido na DZ-1.311.

Com relação às distâncias mínimas estabelecidas pela diretriz de destinação de resíduos (DZ-1.311), fica estipulado que:

- O aterro deverá ser situar-se fora da faixa marginal de proteção de qualquer corpo d'água e respeitada a distância mínima de 300 metros;
- Deverá ser mantida uma distância mínima de 2 metros entre o nível inferior do aterro e o nível mais alto do lençol freático, determinado em épocas de máxima precipitação;
- A área útil do aterro deverá localizar-se no mínimo a 1000 metros de residência, de hospitais, clínicas e centros médicos e de reabilitação, de escolas, de asilos, de orfanatos e creches, de clubes esportivos e parques de diversões e outros equipamentos de uso comunitário já existentes ou previstos.
- O aterro deverá localizar-se no mínimo a 50 metros das faixas de domínio das rodovias municipais, estaduais e federais;

Outras questões importantes acerca da disposição de resíduos e da área do entorno do aterro também são colocadas na DZ 1.311:

- É vedada a disposição em aterros industriais, de resíduos patogênicos, inflamáveis, radioativos e reativos;

- É vedada a disposição em aterros industriais, de resíduos líquidos, sendo no máximo admitido resíduos com 70% de umidade;
- A área útil do aterro deverá ser isolada por faixa de vegetação (cinturão verde) composta por plantas lenhosas, arbóreas, arbustivas e até herbáceas, dispostas no entorno da área destinada a aterro industrial.
- A área do aterro deverá ser isolada e controlada de modo a impedir o acesso de pessoas estranhas e de animais;
- É obrigatório o monitoramento do percolado do aterro e a sua influência em águas superficiais e subterrâneas próximas;
- O sistema de impermeabilização inferior e superior do aterro deverá atender ao disposto na DZ-1.313.

Com relação à impermeabilização dos aterros, a DZ 1313 determina diretrizes distintas para a impermeabilização inferior e superior do mesmo.

#### a) Impermeabilização inferior

No caso da construção de aterros industriais em áreas que não sejam naturalmente impermeabilizadas, os aterros industriais deverão possuir sistema duplo de impermeabilização inferior. Este sistema deve contemplar uma manta sintética sobreposta a uma camada de argila compactada, de forma a alcançar coeficiente de permeabilidade menor ou igual a  $1,0 \times 10^{-7}$  cm/s, com espessura mínima de 60 cm, devendo ser mantida uma distância mínima de 2 m entre a superfície inferior do aterro e o nível mais alto do lençol freático determinado em época de máxima precipitação. Sobre o material sintético deverá ser assentada uma camada de terra com espessura mínima de 50 cm.

Antes da escolha da manta sintética a ser utilizada, a mesma deve passar por ensaios de laboratório para comprovar sua resistência química aos resíduos a serem dispostos. Além disso, a manta deve ser resistente aos ciclos de umedecimento e secagem, aos esforços naturais de operação do aterro (tração, flexibilidade e alongamento) e deve apresentar características que facilitem suas emendas e

reparos em campo.

O sistema duplo de impermeabilização deverá ser assentado sobre uma base ou fundação capaz de suportá-lo, bem como resistir aos gradientes de pressão acima e abaixo da impermeabilização de forma a evitar sua ruptura por assentamento ou levantamento do aterro.

Para conhecer estes limites de resistência e para que sejam conhecidos e majorados os riscos de poluição das águas subterrâneas da região, deve ser efetuada uma investigação geológica e geotécnica do todo terreno envolvido na área de influência do aterro. Segundo a NBR 8.419, os aspectos geotécnicos e geológicos a serem conhecidos são: a litologia, as estruturas, o perfil, a espessura do solo e sua granulometria, sua homogeneidade e permeabilidade, posição e dinâmica do lençol freático, qualidade e importância econômica das águas subterrâneas, importância do terreno em termos de recarga de água subterrânea, os riscos de ruptura ou erosão acentuada do terreno de fundação e/ou dos terrenos adjacentes.

Cabe salientar que este sistema duplo de impermeabilização deve contemplar toda a área útil do aterro, inclusive as paredes laterais de cada célula.

#### b) Impermeabilização superior (cobertura final):

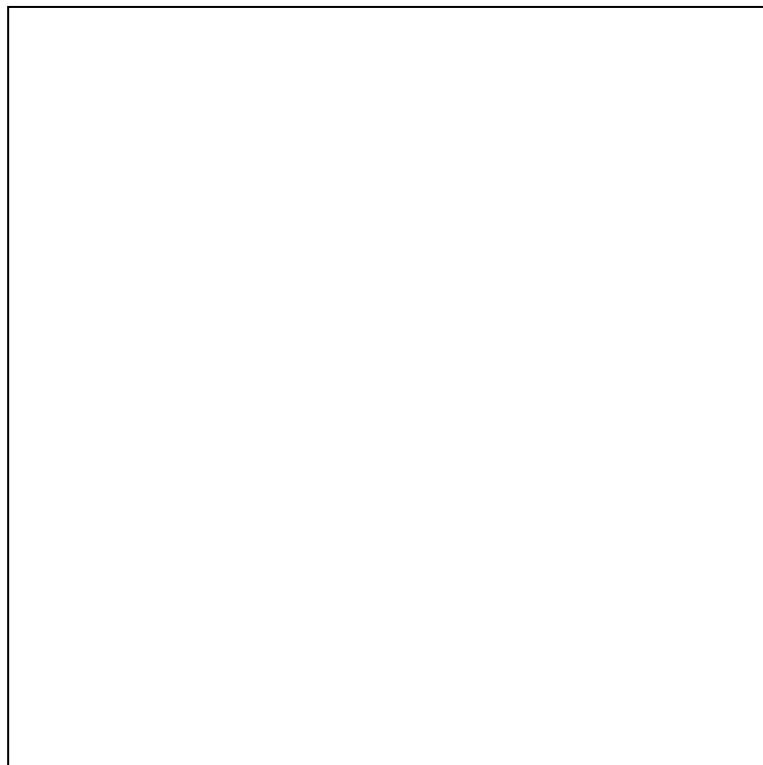
Quando do fechamento de cada célula de um aterro industrial, a impermeabilização superior a ser aplicada deverá garantir que a taxa de infiltração na área seja tão pequena quanto possível; desta forma, esta impermeabilização deverá ser, no mínimo tão eficaz quanto o sistema de impermeabilização inferior empregado.

- O sistema de impermeabilização superior deverá compreender as seguintes camadas, de cima para baixo, com declividade maior ou igual a 3%:
- Camada de solo original de 60 (sessenta) centímetros, para garantir o recobrimento com vegetação nativa de raízes não axiais;
- Camada drenante de 25 (vinte e cinco) centímetros de espessura, com coeficiente de permeabilidade maior ou igual a  $1,0 \times 10^{-3}$  centímetros/segundo;
- Manta sintética com a mesma especificação utilizada no sistema de

impermeabilização inferior;

- Camada de argila compactada de 50 (cinquenta) centímetros de espessura, com coeficiente de permeabilidade menor ou igual a  $1,0 \times 10^{-7}$  centímetros/segundo.

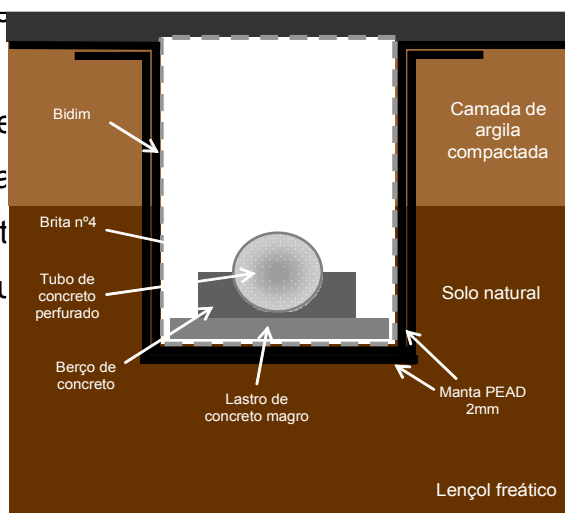
A figura 24 a seguir esquematiza as camadas mínimas necessárias para a impermeabilização inferior e superior de aterros industriais, segundo a DZ 1313.



**Figura 24:** Impermeabilização inferior e superior dos aterros industriais.

*Adaptado da DZ 1.313 da FEEMA*

líquido percolado, re  
Esse sistema pode  
perfurados, que dire  
serão enviados para  
dreno de lixiviado t  
necessárias para seu



r o  
mesmo para o subsolo.  
al filtrante e por tubos  
a acumulação de onde  
abaixo representa um  
das as infra-estruturas  
ental.

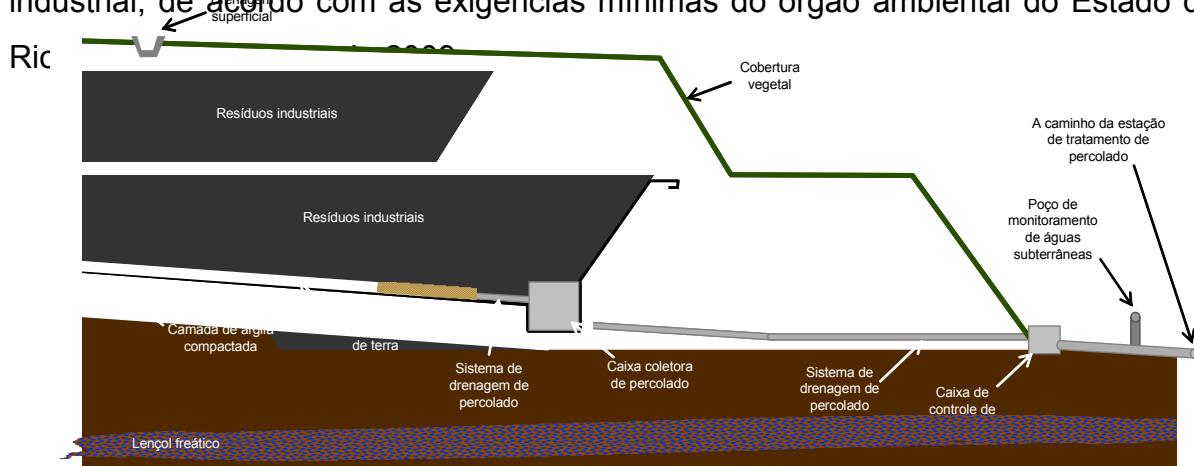
**Figura 25:** Sistema de drenagem principal de percolado, dreno de base de aterro. *Adaptado de:* [www.cetrel.com.br/serv\\_processo/aterro.asp](http://www.cetrel.com.br/serv_processo/aterro.asp)

Todo sistema é baseado na situação topográfica da região, na geometria final da terraplanagem, nas características de permeabilidade do solo e da camada de argila compactada e na intensidade dos recalques que o aterro poderá sofrer.

O sistema é composto por drenos de fundação, fossos verticais de captação, drenos horizontais de células e drenos de pé de talude. Para o dimensionamento desse sistema, é fundamental conhecer a vazão a ser drenada e as características do resíduo disposto. Este sistema deverá ser construído em todos os patamares de operação do aterro.

Nessas condições, conjugado com o sistema de impermeabilização de base do aterro, os efluentes gerados, somados as eventuais infiltrações devido às chuvas, serão devidamente coletados e direcionados para o tratamento, tendendo a garantir uma melhor geomecânica no aterro, seja na resistência ou na deformação do solo.

A figura 26 a seguir representa as diversas infra-estruturas de um aterro industrial, de acordo com as exigências mínimas do órgão ambiental do Estado do



**Figura 26:** Representação esquemática do sistema de drenagem de percolado  
Adaptado de: [www.cetrel.com.br/serv\\_processo/aterro.asp](http://www.cetrel.com.br/serv_processo/aterro.asp)

É possível dispor em aterros industriais resíduos que contenham contaminantes que possam vir a sofrer atenuação no solo. Porém, resíduos que possuam características inflamáveis, reativas, oleosas, radioativas, bem como os orgânicos-persistentes ou os que contenham líquidos, não são indicados para disposição em aterros industriais, por isso, é indispensável o tratamento prévio dos resíduos gerados nas refinarias de petróleo.

Foram verificadas três principais vantagens da utilização de aterros industriais como técnica de destinação final de resíduos sólidos perigoso, sendo elas o acondicionamento seguro dos resíduos, o baixo custo, de aproximadamente R\$ 250,00 a tonelada aterrada e a grande capacidade de gestão, como desvantagens temos a criação de passivo ambiental, a impossibilidade de dispor qualquer tipo de resíduo, conforme mencionado anteriormente e a necessidade de monitoramento por longos períodos, conforme quadro 14 abaixo.

**Quadro 14:** Vantagens e desvantagens do aterro industrial

<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
Acondicionamento seguro dos resíduos	Criação de passivo ambiental
Baixo custo (Aprox. R\$ 250/tonelada)	Não é possível dispor qualquer tipo de resíduo
Grande capacidade de gestão	Monitoramento por longo período

Em 2009, o custo aproximado para disposição de resíduos, com teor de umidade inferior a 70% em aterros industriais é da ordem de R\$ 250,00 a tonelada.

## CAPITULO 5

### CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

***“A natureza não é benevola, e é com determinada indiferença que de tudo se vale para os seus fins.”***

*Lao-Tsé*

Após a conclusão da presente pesquisa, acredita-se que foram atingidos os objetivos intencionados no primeiro capítulo. Os resíduos perigosos gerados nas refinarias foram identificados, caracterizados e classificados através de seus



processos originários, ou seja, através das diferentes unidades de refino. Para tal os processos de produção de derivados foram descritos, tendo sido identificados àqueles que geram resíduos perigosos.

A gestão destes resíduos foi desenvolvida com base nos conceitos ambientais, éticos, sociais, legais e normativos, destacando-se os conceitos de sustentabilidade e de “poluidor-pagador” como aqueles que hoje mais influenciam nos modelos de gestão. As técnicas de tratamento e destinação final dos resíduos foram apresentadas dentro da realidade brasileira, tendo sido analisadas suas principais vantagens e desvantagens para o modelo de gestão proposto.

Acredita-se que a presente pesquisa esteja de acordo com as atuais necessidades técnicas e teóricas relativas ao gerenciamento de resíduos, constituindo-se como uma fonte de consulta de informações acerca do tema em nosso país.

O refino do petróleo e a produção de derivados são grandes fontes poluição, porém, seu potencial poluidor pode ser considerado menor do que a distribuição e o consumo de seus produtos.

Especificamente sobre a geração de resíduos, que representam uma das fontes em potencial de impactos ambientais associados ao refino do petróleo, os resíduos devem ser identificados, analisados e geridos de acordo com a legislação e normatização vigente no país, em especial a NBR 10.004/2004, a lei federal 6.938 de 1981, e, no Estado do Rio de Janeiro, de acordo com as diretrizes 1.310, 1.311, 1.313, 1.314, dentre outras, da extinta Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), atual Instituto Estadual do Ambiente (INEA), baseando-se em conceitos éticos, ambientais e econômicos para as tomadas de decisão e planejamento.

Os programas de minimização de resíduos fazem parte de nova tendência social e empresarial. Por estarem baseados na adoção de procedimentos que objetivam reduzir o volume e a periculosidade dos resíduos, tornam-se indispensáveis nos atuais modelos de gestão de resíduos. Seja através da reciclagem, do reuso, da redução, ou de uma combinação das três metodologias, a proteção ao meio ambiente torna-se mais eficaz, reduzindo os custos de gestão com o menor volume de resíduos. Assim, focados na eco-eficiência, estes conceitos tornam-se essenciais para a gestão dos resíduos perigosos gerados nas refinarias .

Associado aos programas de minimização de resíduos, sendo utilizado como ferramenta gerencial, surge o conceito de logística reversa. Seu principal objetivo é agregar valor, seja econômico, ambiental, legal ou estratégico, a um bem, dentro de um sistema ambientalmente seguro. O real potencial da logística reversa na presente pesquisa esta relacionado ao representativo volume de resíduos gerados, da ordem de 60.000 ton/ano e a constância de sua geração. Alguns resíduos, como aqueles que possuírem hidrocarbonetos, enxofre e alguns metais, por apresentarem valor comercial, podem, através dos canais reversos de pós-consumo, ser reintegrados ao ciclo produtivo das refinarias, parcialmente ou integralmente, seja através de canais reversos de reciclagem ou de reuso, potencializando os programas de minimização de resíduos, aumentando a proteção ao meio ambiente e gerando receita para as refinarias.

Porém, os programas de minimização não são suficientes para gerir completamente os resíduos perigosos das refinarias de petróleo. Como os resíduos perigosos tendem a ser persistentes dentro do meio ambiente é necessária à adoção de processos biológicos, físicos, químicos e/ou térmicos para o correto tratamento daqueles que não foram utilizados nos programas de minimização. Tratamento de resíduos deve ser entendido como o processo que altere física ou biologicamente os resíduos perigosos, de forma que este reduza ou elimine sua periculosidade e/ou seu volume, facilitando seu transporte, reutilização e armazenamento.

Considerando que o custo de transporte é função do volume a ser transportado e da distância, reduzir o volume trás vantagens econômicas no modelo de gestão, logo, investir na secagem e na desidratação dos lodos e borras gerados nas refinarias é interessante para a gestão destes resíduos.

A incineração é uma metodologia eficiente para o tratamento de resíduos perigosos, pois reduz o volume de resíduo a ser disposto além inertizá-lo. Porém, a temperatura atingida na câmara de incineração dever ser suficiente para tornar o resíduo totalmente inerte, procedimento de grande complexidade devido à diversidade físico-química dos resíduos, além da possibilidade de geração de novas substâncias tóxicas devido ao craqueamento molecular caso o controle não seja eficiente, do alto custo de tratamento, cerca de R\$ 750,00 e da necessidade de disposição das cinzas do processo. Por tal, a incineração não é a metodologia de

tratamento mais indicada e mais adequada economicamente, nem ambientalmente para os resíduos gerados nas refinarias.

O landfarming tende a aumentar a decomposição efetuada por microrganismos presentes no solo tratando resíduos que contenham frações sólidas e aquosas. Esta é uma prática ecologicamente correta para tratar resíduos perigosos gerados nas refinarias, em especial as lamas oleosas, compostas por óleo, sedimentos e água. Cabe ressaltar o cuidado na administração de resíduos contendo metais pesados, estes não serão destruídos e acumularão no solo. Esta é uma boa prática de gestão, porém, caso haja condições tecnológicas e econômicas, deve ser utilizada como metodologia alternativa, pois o risco de se sobrecarregar os microrganismos do solo e conseqüentemente gerar um passivo ambiental na área é grande. O mesmo pode ocorrer com as técnicas de biorremediação e de fitorremediação.

Como visto, o co-processamento consiste em utilizar os resíduos como combustíveis para os fornos da indústria de cimento ou como matéria prima na indústria cerâmica, estando às borras oleosas geradas no processo de refino totalmente adequadas para este fim. No Estado do Rio de Janeiro, mais especificamente sobre a gestão dos resíduos gerados na REDUC, de acordo com o inventário de resíduos da empresa entregue a FEEMA no ano de 2003, o co-processamento vêm se destacando como a metodologia mais utilizada para tratar os resíduos que possuam características perigosas.

Na realidade, a utilização dos resíduos sólidos gerados nas refinarias de petróleo no co-processamento vem representando uma nova alternativa para ambas as partes. A indústria cimenteira se interessa por introduzir os resíduos do refino em seu processo, pois os mesmos aumentam o rendimento térmico de sua clínquerização. Em contra partida as refinarias eliminam um grande passivo ambiental, a custos menores do que aqueles associados a outras metodologias de tratamento, como a incineração e o plasma, sem a necessidade de dispor cinzas ou quaisquer materiais resultantes dos processos. Esta é uma grande saída para gerenciar estes resíduos, benefícios mútuos, ambientalmente neutros, visto que, os fornos geram o mesmo volume de emissões, com a utilização destes resíduos ou não.

O processo de tratamento utilizando plasma transforma energia elétrica em calor através da utilização de um gás, tendo como produto final um resíduo de

volume reduzido, vitrificado e de alta dureza, com total queima das substâncias orgânicas e vitrificação das inorgânicas. Esta técnica trata resíduos industriais, que contenham ou não metais pesados, dentre eles os catalisadores exaustos dos processos de conversão e as borras oleosas geradas nas diversas unidades de refino. Porém esta metodologia de tratamento exige a lavagem de gases gerados, disponibilidade de resíduos para alimentar o processo por longos e constantes períodos, tornando-se viável economicamente apenas quando associada à recuperação energética, pois o custo de aproximadamente R\$ 1.300,00 por tonelada tratada a inviabiliza a inclusão desta metodologia no modelo de gestão dos resíduos gerados nas refinarias.

Também ficou claro com a presente pesquisa, que com as tecnologias e práticas de gestão de resíduos hoje disponíveis, não existe modelo de gestão capaz de dispensar a utilização de aterros industriais. Os aterros são imprescindíveis para a disposição final destes resíduos, mesmo que os mesmos passem por metodologias de tratamento para a atenuação de seus componentes perigosos, fato por si só obrigatório para a disposição final nos mesmos. Todos os processos de tratamento apenas reduzem volume e periculosidade, sendo necessária a construção de aterros para dispor os resíduos destes processos.

Não há modelo de gestão tão eficiente ao ponto que seja totalmente sustentável, nem que seja baseado em apenas uma prática ou metodologia. A idéia principal é cruzar as melhores práticas de cada modelo. As possibilidades são inúmeras e dependem apenas das características dos resíduos, dos recursos destinados a sua gestão, das tecnologias disponíveis para o seu tratamento e para sua destinação final e, para no caso de reciclagem ou reuso fora da refinaria, do mercado que poderia recebê-lo. Cada caso deve ser avaliado separadamente, somente assim será possível equalizar benefícios gerenciais com ambientais.

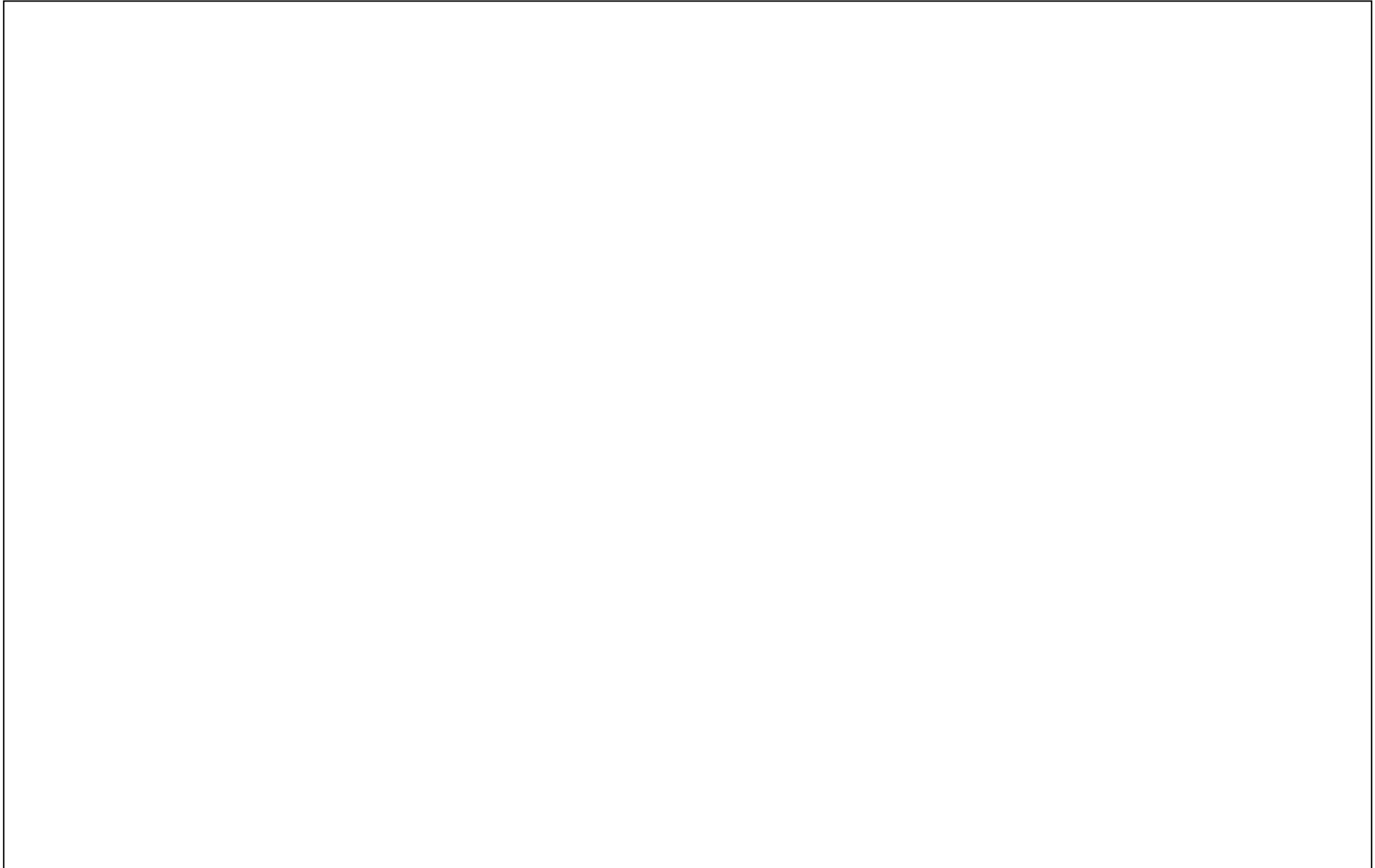
Na prática atual de gestão destes resíduos foram identificados alguns pontos de deficiência, tanto na gestão do empreendedor, que não discrimina exatamente os resíduos e os volumes gerados, havendo capacidade técnica e operacional para tal, quanto do Estado do Rio de Janeiro, que através de seus órgãos de controle ambiental, não exige e não controla com maior rigidez, estas informações, extremamente necessárias para majorar os impactos ambientais desta atividade.

Considerando todas as variáveis aqui expostas, a implantação de um modelo eficaz de gestão de resíduos deve utilizar tecnologias e metodologias adequadas a

viabilidade técnica, operacional, econômica, logística e ambiental da refinaria, integrando as premissas éticas e dos conceitos legais vigentes, reduzindo assim os riscos ambientais desta atividade.

Como sugestão para trabalhos futuros, enalte-se se a necessidade de discussão sobre o tema aqui proposto. É fato que a presente pesquisa possui uma ótica gerencial, por isso, seria interessante o aprofundamento da mesma acerca dos critérios técnicos nela apresentados, seja na caracterização química dos resíduos identificados, seja na reciclagem e ou reutilização dos resíduos dentro da planta de refino, seja na análise prática da comercialização de um ou mais resíduo através de canais logísticos reversos, seja no estudo da eficiência das diferentes metodologias de tratamento para os resíduos estudados. Outra sugestão seria a elaboração de estudo semelhante ao presente para planta de produção de lubrificantes.

A figura 27 a seguir sintetiza todas as etapas de gestão aqui apresentadas para os diferentes resíduos perigosos gerados no processo de refino. A escolha do fluxo de gestão dependerá do resíduo que estará em questão, de sua potencialidade no programa de minimização, de sua aplicação em canais reversos, da viabilidade técnica, financeira e ambiental de seu tratamento e de sua disposição final.



**Figura 27:** Fluxograma do modelo de gestão adotado para resíduos perigosos gerados nas refinarias de petróleo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 10157. **Aterros de resíduos perigosos – Critérios para projeto, construção e operação.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987. 13 p.

ABNT NBR 10004. **Resíduos sólidos – Classificação.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004. 71 p.

ABNT NBR 8419. **Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992. 07 p.

ABNT NBR ISO 14001. **Sistema de Gestão Ambiental – Especificações e Diretrizes.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1996. 14 p.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP) [homepage na internet]. Brasil. Ministério de Minas e Energia. [Atualizada em 2009; Acesso em 02 de fevereiro de 2008]. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/>

ALBERGUINI, L. B. A.; SILVA, L. C.; REZENDE, M. O. O. **Tratamento de resíduos químicos.** São Paulo, Editora RiMa, 2005, 102 p.

ALLEDI, C. **Ética e Responsabilidade Social.** Material acadêmico e notas de aula, Rio de Janeiro, 2006. 160 slides.

AMORIM, R. S. **Abastecimento de água de uma refinaria de petróleo: Caso da REPLAN.** Dissertação de Mestrado, Niterói, 2005, 193 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS (ABETRE) [homepage na internet]. Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos (ABETRE) [Atualizada em 2008; Acesso em 13 de março de 2008]. Disponível em: <http://www.abetre.org.br> .

BAIRD, C. **Química Ambiental.** Porto Alegre, Editora Bookman, 2006. 622 p.

BRAGA, B. **Introdução a Engenharia Ambiental, o desafio do desenvolvimento sustentável.** São Paulo, Editora Prentice Hall, 2006. 318 p.

BRASIL. **Política Nacional do Meio Ambiente.** Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil,** ~~XXXXXX1,~~  
1988988.

BRASIL. **Plano Nacional de Energia 2030: Petróleo e Derivados.** Ministério de Minas e Energia; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Brasília, 2005. 36 p.

BRITISH PETROLEUM (BP) [homepage na internet]. British Petroleum (BP). [Atualizada em 2009; Acesso em 23 de fevereiro de 2008]. Disponível em: <http://www.bp.com> .

CARDOSO, L. C. **Petróleo do poço ao posto.** Rio de Janeiro, Editora Qualitymark, 2006. 176 p.

CETREL S.A. [homepage na internet]. Cetrel S.A. Empresa de Proteção Ambiental. [Atualizada em 2008; Acesso em 05 de novembro de 2008]. Disponível em: [http://www.cetrel.com.br/serv\\_processo/aterro.asp](http://www.cetrel.com.br/serv_processo/aterro.asp) .

DIAMOUND, J. **Colapso, como as sociedades escolhem o fracasso ou o sucesso.** Rio de Janeiro, Editora Record, 2005. 685 p.

EIGENHEER, E. M. **Lixo, Vanitas e Morte, Considerações de um observador de resíduos.** Niterói, Editora EdUFF, 2003 195 p.

ENVIRONMENTAL INVESTIGATION AGENCY (EIA) [homepage na internet]. Environmental Investigation Agency (EIA) [Atualizada em 2009; Acesso em 13 de março de 2008]. Disponível em: <http://www.eia-international.org> .



ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) [homepage na internet]. United States Environmental Protection Agency. Estados Unidos da América. [Atualizada em 2009; Acesso em 20 de fevereiro de 2008]. Disponível em: <http://www.epa.gov/>

FERREIRA, J. A.; ADLER, R. R.; EIGENHEER, E. M. **Reciclagem: Mito e realidade**. Rio de Janeiro, Editora In-fólio, 2005. 72 p.

FERREIRA, J. A. **Gestão de resíduos sólidos urbanos e Tecnologias de aterros sanitários**. Apostila acadêmica e notas de aula, Rio de Janeiro, 2007. 128 p.

FIRJAN. **Manual de gerenciamento de resíduos**. Rio de Janeiro, 2007. 30 p.

GUARNIERI, P. **A caracterização da logística reversa no ambiente empresarial em suas áreas de atuação: Pós-venda e pós-consumo agregando valor econômico e legal**. Artigo, 2005. 9 p.

GIDDENS, A. **Mundo em descontrole, o que a globalização está fazendo de nós**. Rio de Janeiro, Editora Record, 1999. 108 p.

GOSSMAN, D. **Petroleum and Petrochemical Waste Reuse in Cement Kilns**. <http://www.gcisolutions.com/P&PINCK.htm> . 13 de setembro de 2008.

STRICKLAND, J. [homepage na internet]. North Carolina. HOW STUFF WORKS – HOW PLASMA CONVERTERS WORK. [Atualizada em 2009, Acesso em 5 de janeiro de 2009]. Disponível em <http://science.howstuffworks.com/plasma-converters.htm/printable> .

IPT / CEMPRE. **Lixo municipal, manual de gerenciamento integrado**. São Paulo, Editora Páginas e Letras, 2000. 370 p.

INSTITUTO ETHOS [homepage na internet]. São Paulo. Instituto Ethos de Empresas e Responsabilidade Social. [Atualizada em 2009; Acesso em 22 de julho de 2008]. Disponível em: <http://www.ethos.org.br/>

LEITE, P. R. **Logística reversa, meio ambiente e competitividade**. São Paulo, Editora Prentice Hall, 2006. 250 p.

LERIPIO, A. A. **Gaia, um método de gerenciamento de aspectos e impactos ambientais**. Tese de Doutorado, Florianópolis, 2001. 152 p.

MARIANO, J. B. **Impactos ambientais do refino do petróleo**. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, 2001, 279 p.

MENEZES, R. A. A.; BESSA, I.; MENEZES, M. A.; **O Plasma Térmico: Solução Final Para os Resíduos Perigosos**. Artigo apresentado no Seminário de Meio Ambiente da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM), São Paulo, 1999, 22 p.

MILLER, G. T. **Ciência Ambiental**. São Paulo, Editora Thomson, 2007. 501 p.

MORAES, C. D. **Conceitos, técnicas e processos em downstream – refino e petroquímica**. Material acadêmico e notas de aula, Rio de Janeiro, 2007. 162 slides.

NEBEL, B. J.; WRIGHT, R. T. **Environmental Science**. Orlando, Editora Thomson, 6º edição, 1999. 571 p.

NEW MEXICO ENVIRONMENTAL DEPARTMENT. [homepage na internet]. New México Environmental Department. [Atualizada em 2004; Acesso em 03 de junho de 2008]. Disponível em: <http://www.nmenv.state.nm.us/ust/remed-4.html> .

OLIVEIRA, A. A.; SILVA, J. T. M. **A logística Reversa no Processo de Revalorização dos Bens Manufaturados**. Artigo, Minas Gerais, 16 p.

PEPPER, I. L.; GERBA, C. P.; BRUSSEAU, M. L. **Pollution Science**. Londres, Editora Academic Press, 1996. 397 p.

RIO DE JANEIRO. **Diretriz 1.310 – Sistema de Manifesto de Resíduos.** Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), aprovada pela deliberação CECA nº 4.497 de 21 de setembro de 2004.

RIO DE JANEIRO. **Diretriz 1.311 – Diretriz de Destinação de Resíduos.** Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), aprovada pela deliberação CECA nº 3.327 de 29 de novembro de 1994.

RIO DE JANEIRO. **Diretriz 1.313 – Diretriz para impermeabilização inferior e superior de Aterros de Resíduos Industriais.** Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), aprovada pela deliberação CECA nº 3.997 de 08 de maio de 2001.

RIO DE JANEIRO. **Diretriz 1.314 – Diretriz para impermeabilização inferior e superior de Aterros de Resíduos Industriais.** Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), aprovada pela deliberação CECA nº 2.968 de 14 de setembro de 1993.

RIO DE JANEIRO. **Inventário de Resíduos - Fundação Estadual do Meio Ambiente.** Inventário de resíduos Classe I e Classe II da Refinaria de Duque de Caxias (REDUC) do ano de 2003.

RITTER, E. **Disposição final de resíduos industriais.** Apostila acadêmica e notas de aula, Rio de Janeiro, 2007. 52 p.

SAROLDI, M. J. L. A. **Termo de Ajustamento de Conduta na Gestão de Resíduos Sólidos.** Rio de Janeiro, Editora Lúmen Júris, 2005.185 p.

SAROLDI, M. J. L. A. **Instrumentos de defesa do meio ambiente e perícia ambiental.** Apostila acadêmica e notas de aula, Rio de Janeiro, 2007. 100 p.

SILVA, E. R.; NASCIMENTO, V. B. **Sistema de Gestão Ambiental.** Apostila acadêmica e notas de aula, Rio de Janeiro, 2007. 69 p.

SIQUEIRA, J. C. **Ética e Meio Ambiente**. São Paulo, Editora Loyola, 2002. 86 p.

SINGER, P. **Ética prática**. São Paulo, Editora Martins Fontes, 2006. 399 p.

SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA, R. M. **Resíduos sólidos, ambiente e saúde**. Rio de Janeiro, Editora Fiocruz, 2003. 138 p.

SZKLO, A. S. **Fundamentos do Refino do Petróleo**. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 2005. 207 p.

KUPCHELLA, C. E.; HYLAND, M. C. **Environmental Science**. Orlando, Editora Thomson, 3ª edição, 1993. 688 p.

WASTE MANAGEMENT WORLD [homepage na internet]. Reino Unido. PennWell International Publications Limited [Atualizada em 2009; Acesso em 16 de agosto de 2008]. Disponível em: <http://www.waste-management-world/>