

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DO RIO DE JANEIRO.**

**Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental**

Campus Nilópolis

Thábata Ferreira Franco

**ESTUDO PRELIMINAR DAS TECNOLOGIAS TÉRMICAS AVANÇADAS NO  
TRATAMENTO DE RESÍDUOS PERIGOSOS, NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.**

Nilópolis - RJ

2016

Thábata Ferreira Franco

**ESTUDO PRELIMINAR DAS TECNOLOGIAS TÉRMICAS AVANÇADAS NO  
TRATAMENTO DE RESÍDUOS PERIGOSOS, NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de especialista em Gestão Ambiental no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro.

Orientador: Luiggia Girardi Bastos Reis de Araújo, M. Sc.

Nilópolis - RJ

2016

Thábata Ferreira Franco

**ESTUDO PRELIMINAR DAS TECNOLOGIAS TÉRMICAS AVANÇADAS NO  
TRATAMENTO DE RESÍDUOS PERIGOSOS, NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de especialista em Gestão Ambiental no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro.

Data de aprovação: 16 de Fevereiro de 2016.

---

Professor M.Sc. Luiggia Girardi Bastos Reis de Araújo (orientador)  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

---

Prof. D.Sc. Marco Aurélio Passos Louzada  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

---

Prof. D.Sc. Ana Paula da Silva  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

Nilópolis - RJ

2016

À Deus, toda a glória.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus que com sua infinita benevolência, têm me permitido alcançar novas etapas.

Agradeço aos meus pais Edmar e Selma, que sempre me criaram para nunca me acomodar e me ensinaram que o conhecimento é o caminho.

Agradeço ao meu irmão Edmar Junior, pela verdadeira e sincera amizade.

Agradeço ao meu marido Daniel, meu amor, apoiador e companheiro de todas as caminhadas, te amar é meu prazer.

Agradeço a professora e orientadora Luiggia Girardi Bastos Reis de Araújo, que em todo o tempo, me deu o direcionamento deste trabalho.

Aos colegas de turma, amigos que ainda nos encontraremos muito na profissão.

Aos componentes da banca, professores Ana Paula e Marco Aurélio, por aceitarem o convite de contribuírem para o aperfeiçoamento do meu trabalho.

“A vida assemelha-se ao curso de um rio.  
Em determinados momentos um galho ou uma pedra caem no leito para interferir em seu deslocamento, tentando assorear-lhe.  
Todavia, a água tudo vence e tudo desintegra.  
Ela acumula-se ao redor do obstáculo até sobrepujá-lo.  
Nós somos a água.”

*Autor desconhecido*

FRANCO, Thábata Ferreira. *Estudo Preliminar das Tecnologias Térmicas Avançadas no Tratamento de Resíduos Perigosos, no Estado do Rio de Janeiro*. Trabalho de Conclusão de Curso. Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Nilópolis, Nilópolis, RJ, 2016.

## RESUMO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos considera o aproveitamento energético de resíduos sólidos como uma destinação ambientalmente adequada, que ocupa o 5º lugar na hierarquia de gerenciamento de resíduos. Essas tecnologias permitem o uso de resíduos como combustíveis ou o uso do resíduo como um ingrediente para produzir combustíveis. As tecnologias de tratamento térmico avançadas, como Pirólise, Gaseificação e Plasma Térmico, são métodos que geram materiais que podem ser utilizados novamente como matéria-prima ou insumos, como gases, óleos, materiais sólidos como carvão, cerâmicas e metais. O proposto estudo desenvolveu um panorama preliminar do tratamento térmico avançado de resíduos perigosos no estado do Rio de Janeiro. Neste panorama, pôde-se perceber que as 21 empresas contatadas, via questionário, geram principalmente resíduos perigosos inflamáveis e patogênicos. Apenas 10% encaminha resíduos como borra oleosa, resíduos patogênicos, pilhas e baterias, dejetos, lodos industriais, lâmpadas fluorescentes e produtos químicos para tratamento a partir da pirólise e plasma térmica. Cerca de 40% das empresas contatada destinam para incineração e coprocessamento. De certa forma, a recuperação energética é uma destinação ambientalmente adequada e à frente da disposição em aterros industriais. Três empresas na área de tratamento térmico avançado foram contatadas por questionário. Duas possuem reatores de pirólise e estão localizadas no Rio de Janeiro e uma apresenta reator de gaseificação e está localizada no Rio Grande do Sul. Estas empresas declararam receber matéria-prima, produtos ou insumos de empresas não localizadas no Rio de Janeiro, para geração de energia, tratamento de resíduos e geração de produtos (óleo, char e gás). Entre os produtos recebidos estão: pilhas e baterias, produtos químicos vencidos, biomassa, lodos industriais, borra oleosa e medicamentos vencidos.

**Palavras-chave:** resíduos perigosos; tecnologias térmicas avançadas; reatores de pirólise, gaseificação e plasma térmico.

FRANCO, Thábata Ferreira. *Preliminar Reserch of Advanced Thermal Technologies in Treatment of Hazardous Waste in the state of Rio de Janeiro*. Course Completion Project of Graduate in Environmental Management at Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), *Campus Nilópolis*, Nilópolis, RJ, 2016.

## ABSTRACT

The National Solid Waste Policy considers the energy use of waste as an environmentally proper disposal, which occupies the 5th place in the waste management hierarchy. These technologies allow the use of waste as a fuel or the use of waste as an ingredient to produce fuels. The advanced heat treatment technologies such as pyrolysis, gasification and thermal plasma, are methods that produce materials that can be used again as raw materials or inputs such as gas, oil, solids such as coal, ceramics and metals. The proposed study developed a preliminary overview of advanced thermal treatment of hazardous waste in the state of Rio de Janeiro. In this overview, 21 companies from state of the Rio de Janeiro answer a questionnaire and generate hazardous waste, mainly flammable and pathogenic waste. Only 10% of those companies send hazardous waste to advanced thermal treatment (pyrolysis and thermal plasma) such as batteries, sludge and lamps. About 40% of the contacted companies send their waste to incineration and co-processing, which are two adequate options than landfills. Three advanced thermal treatment companies answered other questionnaire and have pyrolysis and gasification plants, located in the state of the Rio de Janeiro and Rio Grande do Sul. These companies received hazardous waste, such as batteries, expired chemicals e medicines, biomass, industrial sludge, oily sludge to waste treatment and power generation.

**Keywords:** hazardous waste; advanced thermal technologies; pyrolysis, gasification and thermal plasma reactors.



## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	12
2.1. OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3. METODOLOGIA.....	13
3.1. COLETA DE DADOS SOBRE EXISTÊNCIA E LOCALIZAÇÃO DE UNIDADES DE TRATAMENTO TÉRMICO POR TECNOLOGIAS AVANÇADAS NO RIO DE JANEIRO.....	13
3.2. ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIO SOBRE DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS PARA TRATAMENTO TÉRMICO AVANÇADO POR EMPREENDIMENTOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....	13
3.3. ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIO SOBRE EMPREENDIMENTOS DE TRATAMENTO TÉRMICO AVANÇADO LOCALIZADOS DENTRO E FORA ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....	14
3.4. TRATAMENTO DOS DADOS OBTIDOS NO QUESTIONÁRIOS.....	14
4. TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS PERIGOSOS.....	14
4.1. Tecnologia de Incineração.....	15
4.1.1. O processo de incineração.....	166
4.1.2. Tratamento de resíduos voláteis da combustão.....	12
4.1.3. Exemplo de tecnologia de incineração de resíduos industriais no estado do Rio de Janeiro.....	18
4.2. Tecnologia de Coprocessamento.....	19
4.2.1 Sistema de controle das emissões atmosféricas.....	20
4.2.2. Exemplo de tecnologia de coprocessamento no estado do Rio de Janeiro.....	211
4.3. Tecnologia de Pirólise.....	211
4.3.1. Exemplo de tecnologia de pirólise no estado do Rio de Janeiro.....	233
4.4. Tecnologia de Plasma Térmico.....	23
4.4.1. Exemplo de tecnologia de plasma térmico no estado do Rio de Janeiro.....	266
4.5. Tecnologia de Desinfecção Térmica.....	277
4.5.1. Micro-ondas.....	27
4.5.2. Exemplo de tecnologia de desinfecção térmica no estado do Rio de Janeiro.....	288
4.6. Tecnologia de Gaseificação.....	29
4.6.1. Exemplo de tecnologia de gaseificação no estado do Rio de Janeiro.....	30

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1. DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS POR EMPREENDIMENTOS LOCALIZADOS NO RIO DE JANEIRO.....	322
5.2. EMPREENDIMENTOS DE TRATAMENTO TÉRMICO AVANÇADOS NO BRASIL, EM ESPECIAL, NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....	37
6.DISSCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	43
CONCLUSÃO.....	455
REFERÊNCIAS .....	456
APÊNDICES.....	49

## INTRODUÇÃO

O tratamento térmico é uma tecnologia de destinação de resíduos sólidos, também denominada aproveitamento energético. Esses tipos de tecnologia transformam resíduos sólidos - materiais sólidos ou semi-sólidos que possam ser submetidos a algum tipo tratamento ou recuperação para aproveitamento - em rejeitos. Rejeitos são resíduos sólidos, cujas possibilidades de tratamento e recuperação estejam esgotadas, e que devem ser dispostos em aterros sanitários (BRASIL, 2010). A gestão de resíduos sólidos no Brasil, desde 2010, deve ser executada à luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) e atender normas específicas. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) institucionaliza uma hierarquia no gerenciamento desses resíduos. Quando não é possível não gerar, reduzir, reutilizar e/ou reciclar um resíduo, o seu aproveitamento energético a partir de tecnologias de tratamento térmico torna-se uma destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2012). No entanto, para tratamento de resíduos perigosos, o tratamento térmico é uma opção ambientalmente adequada, visto que resíduos perigosos e materiais contaminados com resíduos perigosos na maior parte das vezes não são recicláveis (BRASIL, 2012).

Conforme definições descritas na norma ABNT NBR 10.004 (ABNT, 2004), resíduos perigosos são aqueles que apresentam características como: corrosividade, reatividade, inflamabilidade, toxicidade e patogenicidade (ABNT, 2004). Esses resíduos são então distintos de resíduos sólidos urbanos (RSU) e resíduos de construção civil e demolição (RCCD), que são considerados não perigosos à saúde pública e/ou ao meio ambiente. Atualmente, existem diversas tecnologias de tratamento térmico de resíduos. A tecnologia mais comum conhecida é a tecnologia de Incineração, que consiste na queima de resíduos em alta temperatura, utilizando grandes quantidades de oxigênio. Outras tecnologias, tais como pirólise, gaseificação e plasma térmico, não utilizam ou utilizam quantidades limitadas de oxigênio e, por isso, geram produtos reaproveitáveis, como óleos, gases e sólidos, sem gerar quantidades significativas de poluentes, como o processo de incineração. Esses processos são denominados tecnologias de tratamento térmico avançado (FoE, 2009). O tratamento térmico auxilia na desoneração de aterros, pois reduz o volume dos resíduos em, no mínimo, 90%. A incineração, mais utilizada no Brasil para tratamento térmico de resíduos sólidos industriais, apresenta grandes vantagens, com relação à redução de volume dos resíduos, periculosidade e patogenicidade, gera grandes quantidades de poluentes, que devem ser rigorosamente tratados

(PARO; COSTA; COELHO, 2008). Um destes é a 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina, considerada a substância mais tóxica que existe, tendo como valor de fator de toxicidade equivalente (TEQ),  $TEQ = 1$ , o mais alto que existe (ASSUNÇÃO, PESQUERO, 1999). No entanto, os incineradores no Brasil ainda não suportam a demanda de tratar e dispor 50000 toneladas de resíduos industriais por ano. Como alternativa, os processos avançados de tratamento térmico geram menores quantidades de dioxina e outros poluentes, por não utilizarem ou utilizarem quantidades restritas de oxigênio, elemento que está na estrutura química da dioxina (FoE, 2009).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Apresentar um panorama preliminar sobre o uso de tecnologias de tratamento térmico de resíduos sólidos perigosos de algumas empresas localizadas no estado do Rio de Janeiro.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Fazer um levantamento sobre as localizações das unidades de gaseificação, pirólise e/ou plasma térmico no estado de Rio de Janeiro e sua infraestrutura.
- Fazer um levantamento sobre os estado de destino mais comuns para os quais resíduos perigosos gerados no Rio de Janeiro são enviados para tratamento.
- Pesquisar e apresentar os principais tipos de resíduos sólidos (resíduos sólidos urbanos, resíduos perigosos, resíduos de serviços de saúde) que estão sendo destinados a essas unidades de tratamento térmico.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. COLETA DE DADOS SOBRE EXISTÊNCIA E LOCALIZAÇÃO DE UNIDADES DE TRATAMENTO TÉRMICO POR TECNOLOGIAS AVANÇADAS NO RIO DE JANEIRO.

Para a coleta de dados referentes à existência e localização de unidades de tratamento térmico por tecnologias térmicas avançadas foram usadas pesquisas bibliográficas na internet, em periódicos de artigos científicos. A realização das pesquisas foi realizada com os seguintes termos-chave: "unidades de gaseificação", "plantas de gaseificação", "reatores de pirólise", "unidades de pirólise", "unidades de plasma térmico", "reatores de plasma térmico", juntos aos termos "Rio de Janeiro" e "Brasil".

#### 3.2. ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIO SOBRE DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS PARA TRATAMENTO TÉRMICO AVANÇADO POR EMPREENDIMENTOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.

Foram contatadas via email, 50 empreendimentos distribuídas dos seguintes setores: 15 dos setores de gás e óleo; 15 de apoio marítimo; 5 do setor metalúrgico; 5 de construção civil; 5 do setor hospitalar; 2 farmacêuticas; 2 cimenteiras e 1 da área de informática. As empresas geradoras de resíduos perigosos foram contatadas para responderem um questionário eletrônico, elaborado com a ferramenta *Google Docs*, disponível para qualquer pessoa que possua uma conta de email do *google*. Esse questionário continha 10 questões objetivas, com perguntas relativas aos seguintes conteúdos: porte da empresa; setor da empresa; características de periculosidade de resíduos que a empresa gera; quais tipos de resíduos são enviados para incineração e ou tratamento térmico avançado; se a empresa envia resíduos para unidades de tratamento térmico localizadas no estado do Rio de Janeiro ou fora do estado do Rio de Janeiro e se a empresa encaminha resíduos para coprocessamento.

### 3.3. ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIO SOBRE EMPREENDIMENTOS DE TRATAMENTO TÉRMICO AVANÇADO LOCALIZADOS DENTRO E FORA ESTADO DO RIO DE JANEIRO.

Após coleta de dados na internet, 10 empresas na área de tratamento térmico avançado, as quais dispõem de reatores de Pirólise, Plasma térmico e Gaseificação, foram contatadas para responderem um questionário eletrônico, elaborado com a ferramenta *Google Docs*, disponível para qualquer pessoa que possua uma conta de email do *google*. Esse questionário continha 9 questões objetivas e uma questão discursiva, com perguntas relativas aos seguintes conteúdos: tipo de unidade (gaseificação, pirólise e plasma térmico); localização; principais tipos de resíduos perigosos recebidos por empresas e especificamente de empresas oriundas do estado do Rio de Janeiro (se a empresa recebe resíduos do estado do RJ).

### 3.4. TRATAMENTO DOS DADOS OBTIDOS NOS QUESTIONÁRIOS

Os dados foram tratados com estatística descritiva, a partir de tabelas de frequência, e foram apresentados em gráficos e tabelas. Os questionários poderão ser visualizado, nos apêndices.

## 4. TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS PERIGOSOS

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2000 (IBGE, 2002), no Brasil as formas utilizadas para destinação final dos resíduos são as seguintes: vazadouro a céu aberto, vazadouro em áreas alagadas, aterro controlado, aterro sanitário, aterro de resíduos especiais, usina de compostagem, usina de reciclagem e incineração. O mesmo estudo descreve que, do total de 8.381 distritos que possuem serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, 5.993 (cerca de 71%) possuem vazadouros a céu aberto e 1.868 (aproximadamente 22%) possuem aterros controlados, sendo estas as formas de destinação de resíduos mais utilizadas no país. Com relação aos resíduos industriais, a PNSB ressalta que, dos 5.475 municípios que possuíam serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, 4.841 não possuíam controle da disposição dos resíduos industriais, 551 possuíam controle e 83 não declararam (IBGE, 2002).

Essa informação ressalta a grande dificuldade no controle do destino dos resíduos industriais produzidos em muitas das cidades brasileiras, indicando a tendência de que estes resíduos estejam sendo despejados também em vazadouros e aterros controlados. Com relação aos resíduos industriais, seu gerenciamento adequado muitas vezes está relacionado às opções disponíveis e ao custo referente ao tratamento e disposição dos resíduos. Em algumas cidades como São Paulo, Rio de Janeiro e Porto Alegre houve a implementação das Bolsas de Resíduos, com intuito de troca, compra, venda ou mesmo doação de resíduos. Este tipo de reciclagem acaba sendo uma das opções para se tratar e destinar os resíduos gerados pelo setor industrial. Imprestáveis para algumas indústrias, certos resíduos podem servir de matéria-prima para outras (ARAÚJO, 1997).

O uso de soluções individuais para as indústrias brasileiras – principalmente médias e pequenas – muitas vezes são caras. Uma opção é a adoção de medidas coletivas, havendo a centralização do depósito de resíduos gerados por várias indústrias em um único local para seu tratamento e destinação. Além da reciclagem e da utilização de aterros, as indústrias também têm usado outras técnicas de tratamento de resíduos, como a incineração, solidificação, precipitação, neutralização, tratamento biológico, entre outras. Além disso, alguns produtos podem ser recuperados, como acontece com óleos, ou reprocessados, no caso de areia de fundição (ROCCA *et al.*, 1993).

#### 4. 1. Tecnologia de Incineração

A incineração é uma tecnologia de tratamento de resíduos sólidos, principalmente urbanos, de serviços de saúde e industriais, por meio da combustão desses resíduos na presença de oxigênio (ar de combustão) e, às vezes, com um combustível auxiliar, em um sistema fechado, do qual resultam sólidos (cinzas), gases e líquidos (BARROS, 2012).

Para tanto é necessário que haja equipamentos de controle de poluição, assim como práticas operacionais que permitam a condução adequada da incineração de modo a não formação de compostos tóxicos, como as dioxinas e furanos, entre outros. Constitui-se em uma das formas de tratamento/disposição final, que possui algumas vantagens e desvantagens sobre outras tecnologias (BARROS, 2012).



#### 4. 1.1. O processo de incineração.

O processo de incineração de resíduos sólidos funciona basicamente em três etapas. A primeira etapa, denominada secagem e volatilização, ocorre entre 50 a 100°C, e compreende a secagem da umidade contida no resíduo e a geração de material volátil. A segunda etapa, denominada combustão primária, ocorre na câmara primária do incinerador, geralmente entre 200 a 750°C e compreende a combustão dos materiais voláteis gerados na primeira etapa. Na terceira etapa, denominada combustão secundária ou combustão, em temperatura próximas e acima de 1000°C, ocorre a combustão dos resíduos fixos, não voláteis. Ao final do processo, restam as cinzas e as escórias (materiais inertes) ao fundo do forno. Gases e cinzas voláteis são liberados para câmaras de tratamento de poluição atmosférica (HENRIQUES, 2004). A figura 1 a seguir mostra um esquema de um incinerador, conforme USEPA (2008):

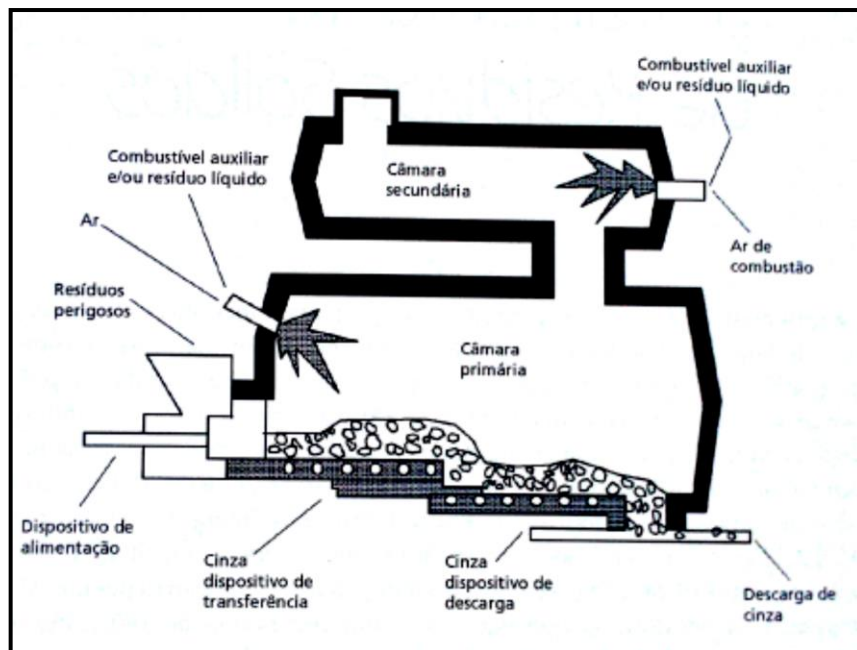


Figura 1. Representação esquemática do processo de incineração. Adaptado de USEPA (2008)

O processo de incineração utiliza a combustão controlada para degradar termicamente materiais residuais. Os equipamentos envolvidos na incineração garantem fornecimento de oxigênio, turbulência, tempo de residência e temperatura adequados e devem ser equipados

com mecanismos de controle de poluição para a remoção dos produtos da combustão incompleta e das emissões de particulados, de SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub> (FIRJAN, 2002). É necessária a correta disposição dos resíduos sólidos resultantes (cinzas) após a incineração.

#### 4. 1.2. Tratamento de resíduos voláteis da combustão

A primeira etapa consiste em resfriar os gases que saem em temperaturas acima de 1000°C da câmara secundária, em equipamentos denominados *boilers*. Nessa etapa, gera-se vapor d'água que podem ser utilizados para geração de energia elétrica e sistema de aquecimento/refrigeração. Gases ácidos gerados são neutralizados em lavadores de gases (sistemas secos) com a injeção de hidróxido de cálcio. Para a retirada de material particulado, podem ser usados filtros-manga, precipitadores eletrostáticos, lavadores Venturi e ciclones, (HENRIQUES, 2004. OLIVEIRA, 2003). Ao final, os gases passam por um leito adsorvente, à base de carvão ativado para a retenção de óxidos nitrosos, retenção de organoclorados (principalmente dioxina) e retenção de metais voláteis (HENRIQUES, 2004; OLIVEIRA, 2003).

Ao final do processo, as águas residuárias, com pH ácido ou básico, podendo conter metais e organoclorados, também devem ser coletadas e tratadas. A figura 2 apresenta um fluxograma com as principais etapas de remoção de poluentes no processo de incineração.

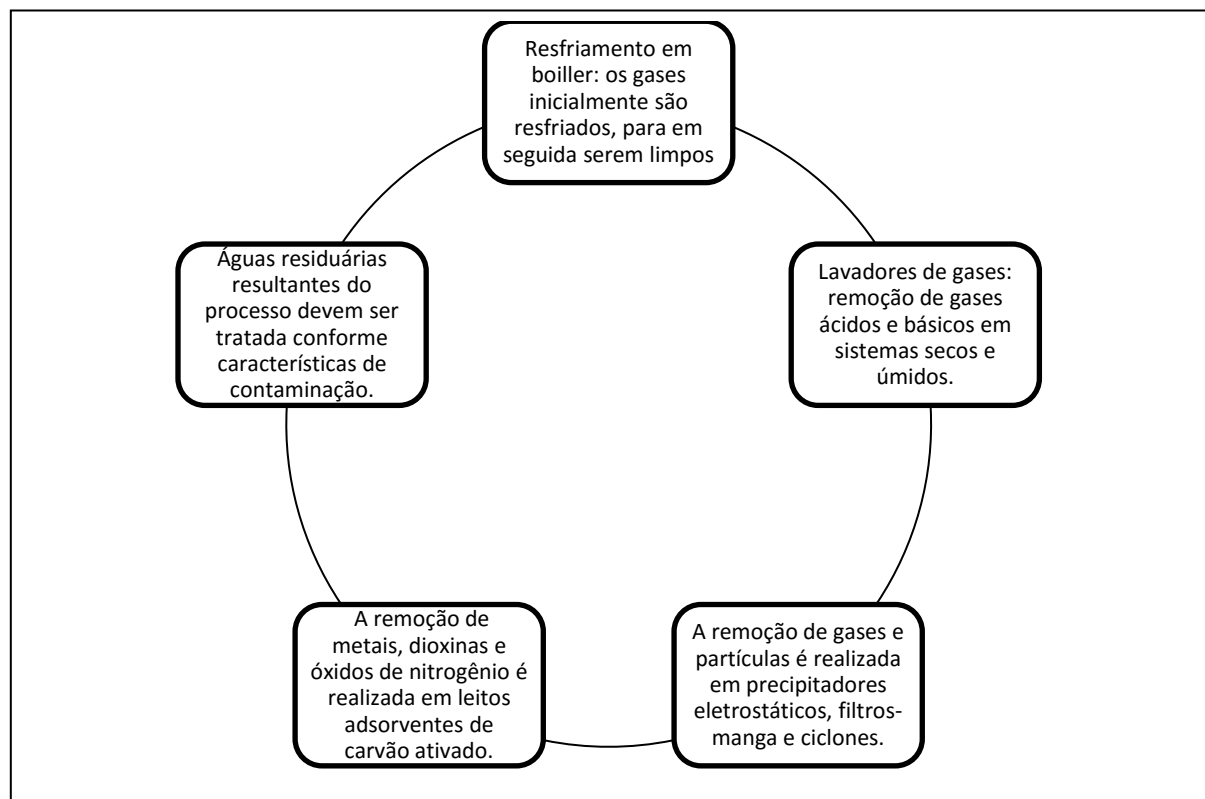


Figura 2. Fluxograma com as etapas de remoção de poluentes na incineração. Adaptado de NAKAGAWA *et al* (2014)

A incineração é um processo que apresenta diversas vantagens, como a redução de 90% do volume dos resíduos tratados, eliminação da patogenicidade e toxicidade, possibilidade de controle do processo quanto à emissão de poluentes e possibilidade de acoplar o processo a sistemas de produção de energia e aquecimento de ambientes. No entanto, também apresenta diversas desvantagens, como elevado custo inicial e operacional, variabilidade na composição dos resíduos tratados, cumprimento de limites legais de emissões, queima de resíduos que podem ser reaproveitados e grande oposição pública (HENRIQUES, 2004). Como é a partir da combustão exotérmica de resíduos sólidos, é que pode ser gerado a dioxina (2,3,7,8-tricloro-dibenzo-p-dioxina), substância mais tóxica existente no planeta, além de outros poluentes, os processos avançados de tratamento térmico, que utilizam pouca ou nenhuma quantidade de oxigênio, são mais eficientes (FoE, 2009).

#### 4. 1. 3. Exemplo de tecnologia de incineração de resíduos industriais no estado do Rio de Janeiro

No estado do Rio de Janeiro, atualmente dois empreendimentos executam incineração de resíduos industriais. Um desses empreendimentos é a ESSENCIS Soluções Ambientais, localizada no município de Magé e o outro é a Foxx Haztec, localizada no município de Belford Roxo, RJ (ALMEIDA, 2015). A empresa Foxx Haztec possui capacidade de incinerar 500 t/mês de resíduos e possui previsão de ampliação da capacidade para 10000 toneladas ao ano. A ESSENCIS Soluções Ambientais envia seus resíduos para incinerador localizado na cidade de Taboão da Serra, em São Paulo, com capacidade para tratar 7000 toneladas de resíduos ao ano (FURTADO, 2010; ALMEIDA, 2015). O incinerador da empresa Fox Haztec se inicia com a câmara de pós-combustão, que opera acima de 1.200°C, logo depois do forno rotativo primário (que chega a 1.000°C), sendo acionado para a destruição de resíduos muito perigosos como os PCBs (bifenilas policloradas, como o ascarel, óleo de transformador elétrico). Depois, há o *quencher* a seco (com vapor de água), que provoca resfriamento brusco dos gases para evitar a formação de dioxinas (formadas em duas zonas indesejáveis, de 275°C a 450°C e de 400°C a 600°C). A sequência do controle inclui dois ciclones para remoção de particulados, lavagem ácida e alcalina e um lavador venturi para remoção das últimas partículas (FURTADO, 2010).

#### 4. 2. Tecnologia de Coprocessamento

O coprocessamento consiste no reaproveitamento de resíduos nos processos de fabricação de cimento. O resíduo é utilizado como substituto parcial de combustível ou matéria-prima e as cinzas resultantes são incorporadas ao produto final, o que deve ser feito de forma controlada e ambientalmente segura. Esta é uma alternativa de baixo custo frequentemente utilizada para tratamento térmico de grande variedade de resíduos (MANTEGAZZA, 2004; SENA, 2013). O tempo de residência e a temperatura do forno de cimento (normalmente entre 1400 e 1500°C) são adequados para destruir termicamente a matéria orgânica (SENA, 2013).

Cabe destacar que essa atividade é uma pratica crescente no mundo. No Brasil, de modo geral, o percentual de substituição de combustíveis e matérias-primas é de, aproximadamente, 15% (SNIC, 2010). Nos países desenvolvidos, a disponibilidade de resíduos industriais é superior à do Brasil, principalmente em função da maior quantidade de

industrias de transformação existentes nesses países (SNIC, 2010). A tabela 1 apresenta os tipos de resíduos que podem ser usados no coprocessamento.

Segundo a USEPA (2003) *apud* FEAM (2010), a eficiência de destruição e remoção dos constituintes dos resíduos coprocessados varia de 99,99 a 99,9999% para os resíduos orgânicos estáveis. Além disso, o mesmo estudo da Agência de Proteção Americana dos Estados Unidos avalia que o coprocessamento de resíduos sólidos urbanos aumenta a vida útil de aterros sanitário e que os custos do processamento são nulos, visto que os forno de clínquer já são adequados ao coprocessamento de resíduos.

Tabela 1. Coprocessamento de resíduos mais comuns para clínquerização

Setor	Resíduos
Siderurgia	Borra de alimentação, emulsão e óleos residuais, graxas e escórias
Tratamento de superfície	Lodo, borra de tinta e vernizes
Alumínio	Borras de alumínio, de oxalato de sódio, skimming; bloco catódico
Borracha	Pneus, perfis e rebarbas
Petroquímica	Solvente, borra neutra, borra de petróleo, borra ácida, catalisadores
Indústria automobilística	Borras de tintas, de solventes, de fosfato; plásticos e mantas
Embalagens	PET e plásticos, exceto PVC
Construção civil	Entulhos de construção

Fonte: Mantegazza (2004)

#### 4.2.1 Sistema de controle das emissões atmosféricas

Os poluentes gerados no coprocessamento e no forno de clínquer são, na maioria dos casos, tratados em equipamentos como filtros de mangas e precipitador eletrostático, que controlam o material particulado a ser lançado na atmosfera. No entanto, o coprocessamento, gera diversos outros poluentes, como, por exemplo, óxidos de nitrogênio e de enxofre, ácidos clorídrico e fluorídrico, monóxido e dióxido de carbono e metais, associados a essas partículas. Por isso, as partículas coletadas pelo sistema de controle são reintroduzidas no sistema, como forma de redução de emissões e otimização do processo produtivo (FEAM, 2010; MANTEGAZZA, 2004).

O coprocessamento de resíduos com grande concentração de metais pesados e de plásticos que contenham cloro, como o policloreto de vinila (PVC) têm sido evitados, já que

podem resultar em emissões indesejáveis na atmosfera, como dioxinas e furanos e metais pesados (FEAM, 2010; MANTEGAZZA, 2004).

#### 4. 2.2. Exemplo de tecnologia de coprocessamento no estado do Rio de Janeiro

No município de Cantagalo, no estado do Rio de Janeiro, o coprocessamento de RSU foi licenciado em 1999 e vem sendo realizado em escala piloto com a utilização do resíduo domiciliar municipal na fábrica de cimento da empresa Lafarge, situada no mesmo município. Nesta unidade, os procedimentos para utilização dos RSU no coprocessamento são o beneficiamento em uma usina de triagem e compostagem, com posterior peneiramento. A fração mais grossa é encaminhada à cimenteira para o processamento (FEAM, 2010). A empresa ESSENCIS Soluções Ambientais apresenta uma unidade de blendagem para coprocessamento, localizada no município de Magé, RJ, que processa 80 mil toneladas de resíduos ao ano para serem enviados a cimenteiras da região (FURTADO, 2010).

#### 4.3. Tecnologia de Pirólise.

A pirólise é uma tecnologia energeticamente sustentável, pois produz mais energia do que consome, no entanto por não utilizar oxigênio, demanda energia elétrica para que os resíduos sejam aquecidos antes de serem encaminhados ao reator pirolítico. A tecnologia promove a decomposição química do resíduo orgânico por calor na ausência de oxigênio. Para serem encaminhados ao reator os resíduos precisam ser triturados, neste, os compostos orgânicos são volatilizados e parcialmente decompostos.

A pirólise é um processo ecoeficiente, tendo em vista que possui a vantagem deste a limitação da produção de particulados, o que configura uma destinação final de resíduos sólidos, sustentável. Todavia ainda é um processo custoso no que tange à sua manutenção, necessita de maior aprimoramento tecnológico. O gerenciamento de energia e resíduos são dois assuntos essenciais para o aumento do crescimento industrial e econômico (ABOULKAS et al., 2012) e um dos maiores desafios é a redução e disposição final ambientalmente segura desses resíduos perigosos. A reciclagem química consiste na diminuição do peso molecular desses insumos (LA MANTIA, 2002), onde pirólise, que é a degradação pelo calor, mostra a estrutura química do polímero sendo degradada (ZANIN et al., 2004).

Para Aguado e outros (1999) e Miskolczi e outros (2006), a pirólise de resíduos plásticos é uma técnica onde ocorre a conversão em insumos petroquímicos ou em combustíveis em temperaturas elevadas (WILLIAMS, 2010). Quantidades variadas de gases,

líquidos e sólidos podem ser produzidas (BISIO et al, 1994; KAMINSKY, 2004). Na co-pirólise catalítica, o uso do catalisador favorece a utilização de temperaturas mais baixas e podem ser gerados produtos mais selecionados com baixo peso molecular (OLIVEIRA et al., 2009; LÓPEZ et al., 2011).

Fatores como tipo de resíduos, tamanho das partículas submetidas ao processo, tipo de reator, temperatura e velocidade de variação da temperatura, cinética do processo, umidade presente nos resíduos, dentre outros, têm sido estudados como fatores que influenciam no processo pirolítico e nos subprodutos obtidos pelo tratamento (DE OLIVEIRA, 2006). A co-pirólise é adição de mais de um material como carga no reator pirolítico. As vantagens estão relacionadas às condições de processamento (temperatura e pressão) que podem ser reduzidas. Segundo Miller e Shan (2000), a co-pirólise de poliolefinas com outros combustíveis tem se mostrado tecnicamente viável.

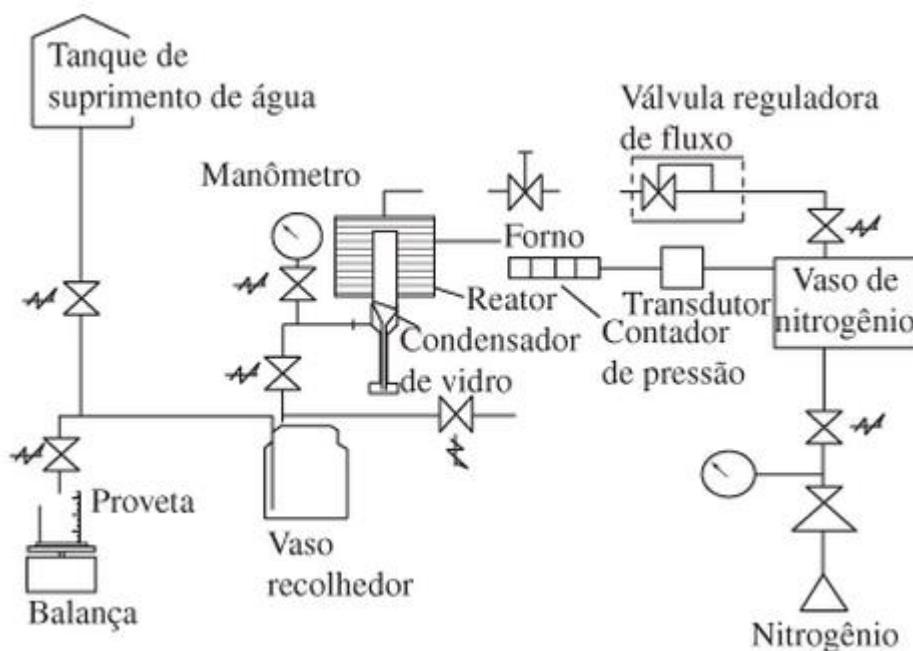


Figura 3 -Avaliação de Pirólises de Resíduos Industriais por Análises Térmicas Érica de Melo Azevedo

Assim como a incineração de Resíduos sólidos urbanos (RSU), as praticas operacionais, que incluem a taxa de aquecimento (temperatura) e tempo de residência, influenciam na formação dos subprodutos; e nesse sentido, Velghe *et al* (2011) avaliaram que taxas de aquecimento elevadas e tempos de residência curtos (pirólise rápida) induzem a presença de material ceroso nos produtos líquidos da pirólise. Entretanto, nestas condições,

ainda existia a presença de muitos hidrocarbonetos alifáticos de poli (etileno-copropileno), o que descortinou a quebra incompleta. Já, durante condições de pirólise rápida em uma taxa de transferência de entrada de 24g/min, o material ceroso é convertido em gás, ou os compostos aromáticos em óleos a uma temperatura de reação de 550°C . O material ceroso pode ter possibilidades de aplicações como a cera de parafina ou pode ser aperfeiçoado para frações mais leves de combustível. Com relação aos gases produzidos na pirólise rápida, Velghe *et al* (2011) demonstraram que estes possuem o potencial de uso como combustível, pois os mesmos contem, principalmente, hidrocarbonetos, assim como possuem um poder calorífico inferior médio de 25 MJ/Nm<sup>3</sup> para a supracitada taxa de transferência de entrada de 24 g/min.

#### 4. 3. 1. Exemplo de tecnologia de pirólise no estado do Rio de Janeiro

No Rio de Janeiro, a COMLURB possui a maior instalação a base de pirólise, com duas unidades de 200 kg/h, cada. Estes fornos, com tecnologia nacional da SIRT, são verticais e estruturados em três fases sequenciais, de acordo com a temperatura a que os resíduos são submetidos (SEA, 2013)

A primeira fase é a de secagem do resíduo, com temperaturas que vão até a casa dos 200°C. Imediatamente a seguir, vem a zona de decomposição, onde os resíduos alcançam temperaturas da ordem dos 500°C. Já próximo à grelha fixa, ocorre a terceira e última zona da pirólise, que é a zona de gaseificação, com temperaturas que vão desde os 1.000 até os 1.300°C. Os gases gerados no processo são conduzidos a um ciclone onde é feita a remoção do material particulado (normalmente partículas de carbono que não entraram em combustão). Em seguida, já limpos de partículas sólidas, os gases passam por um sistema de lavagem com água em contra corrente e depois de totalmente limpos são descartados na atmosfera, A tecnologia é altamente variável, em função dos requisitos do sistema de depuração de gases e do sistema de combustão. (SEA, 2013).

#### 4. 4. Tecnologia de Plasma Térmico

O plasma é o gás ionizado por meio de temperaturas superiores a 3000 °C. A característica de alta energia e temperatura do plasma possui um tempo de reação menor que o incinerador clássico, desta maneira a velocidade de destuição é mais alta o que não demanda



muito espaço físico no reator. O plasma é considerado o quarto estado da matéria, constituído por uma mistura de elétrons, íons e partículas neutras, embora em geral, seja eletricamente neutro. (BORGES, 2007).

O grau de ionização de um plasma é a proporção de átomos que os elétrons perderam (ou ganharam) e, no caso de plasmas térmicos, isso é controlado, sobretudo, pela temperatura. A tecnologia de plasmas térmicos, isso é controlado, sobretudo, pela temperatura. A tecnologia de plasma compreende a criação de um arco elétrico sustentado pela passagem de corrente elétrica através de um gás em um processo chamado ruptura dielétrica. Em razão da resistividade elétrica em todo sistema, há uma significativa geração de calor, que afasta os elétrons das moléculas de gás, resultando em um fluxo de gás ionizado, ou plasma (GOMEZ *et al*, 2009). Trata-se de um processo térmico drástico de não incineração, que usa temperaturas extremamente altas em um ambiente crente de oxigênio para se decompor completamente os resíduos em moléculas muito simples, resultando, como subprodutos dos processo, um gás combustível e uma escoria inerte (MOUSTAKAS *et al*, 2005).

A uma temperatura de 2000°C as moléculas de gás dissociam-se no estado atômico e, quando a temperatura é elevada para 3000°C, as moléculas do gás perdem elétrons e este torna-se ionizado. Neste estado, o gás tem uma viscosidade semelhante a um líquido à pressão atmosférica e as cargas elétricas livres conferem uma condutividade elétrica relativamente alta, que pode aproximar os metais (AUCIELLO e FLAMM, 1989 *apud* GOMEZ *et al*, 2009).

Conforme preconizaram Gomez *et al* (2009), o plasma térmico possui diversas vantagens, como a alta temperatura, radiação não ionizante de alta intensidade e de alta densidade de energia, permitindo aos reatores de plasma térmico alcançarem: elevada taxa de transferência com geometria compacta do reator; elevadas taxas de extinção (>10<sup>6</sup> K/s), permitindo que sejam obtidos composições de materiais sólidos e gases específicos; possibilidade de tratamento de resíduos e efluentes perigosos em estados sólidos, líquidos e gasosos; e baixas taxas de vazão de gás. Esta última vantagem é decorrente do fato de que não há necessidade de oxidantes para produzir a fonte de calor de processo, desse modo, nenhum combustível é queimado, e, portanto, o volume de fluxo de gás produzido é muito menor quando comparado aos processos convencionais de combustão.

A queima de combustíveis fósseis permite alcançar temperaturas de 2.000°C, enquanto plasmas térmicos gerado eletricamente podem atingir temperaturas de 20.000°C ou superiores. (GOMES *et al*, 2009).

No entanto, no insumo energético, sobretudo nos casos de obtenção de plasmas térmicos gerados por energia elétrica, pode residir uma grande desvantagem, uma vez que acarreta demandas elevadas por energia e alto custo associado. No que tange à questão energética, há que se considerar o orçamento energético para a tecnologia de tratamento a ser escolhida. Por essa razão, quando se torna possível a recuperação energética, tecnologias de grande demanda de energia tornam-se mais atraentes, para os balanços energéticos, de geração de gases de efeito estufa em toda a cadeia energética (desde a geração de energia elétrica até o uso e recuperação em plasmas térmicos ou incineradores), e econômica da central. (BYUN *et al*, 2011; GOMEZ *et al*, 2010 *apud* BYUN *et al*, 2011):

Nesse sentido, a tecnologia de gaseificação por plasma tem atraído cada vez mais atenção como uma alternativa para alimentação de sistemas de queima, visando ao tratamento de RSU, em razão das vantagens arroladas a seguir (BYUN *et al*, 2011; GOMEZ *et al*, 2010 *apud* BYUN *et al*, 2011):

- A alta densidade de energia e temperatura;
- O tratamento de uma ampla gama de resíduos
- A alta densidade de fluxo de calor nos limites do reator que acarretam a rápida obtenção da condição de estado estacionário, entre outros;

Com a gaseificação por plasma, os componentes orgânicos dos RSU são convertidos para gás de síntese, composto principalmente de monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H<sub>2</sub>), que pode ser usado diretamente como fonte de combustível em usinas para a produção de energia elétrica ou combustíveis sintéticos, enquanto os componentes inorgânicos são transformados em escória inócua (LEE *et al*, 2007 *apud* BYUN *et al*, 2011).

Também nesse sentido, Moustakas *et al* (2005) preconizaram que um sistema de plasma gaseificação/vitrificação, além de se constituir em um método de eliminação dos resíduos tecnologicamente avançado e ambientalmente amigável, é passível de convertê-los a subprodutos comercialmente utilizáveis. As reações de gaseificação são reações complexas, ainda em investigação, que consistem em uma combinação de reações gás-sólido e de fase gasosa. Os gases produzidos consistem especialmente no já mencionado gás de síntese (mistura de CO e H<sub>2</sub>) e, são alimentados para a câmara de combustão secundária onde são queimados com o ar para formação do dióxido de carbono e da água.

#### 4. 4. 1. Exemplo de tecnologia de plasma térmico no estado do Rio de Janeiro

A empresa ECOCHAMAS, localizada no município de Resende, possui tecnologia utilizada é o tratamento Térmico dos resíduos por Plasma. Este é realizado em condições controladas, resultando na gaseificação matéria orgânica. Os gases produzidos são alimentados em uma câmara de combustão para sua completa oxidação (queima). Os componentes inorgânicos do resíduo (cinzas) por sua vez são fundidos e vazados do reator para formar uma matriz vítrea, totalmente inerte. (SEA, 2013)

A empresa utiliza Mão de obra, são necessários técnicos especializados na operação da instalação, tal como para a manutenção da mesma. Dentre os equipamentos utilizados, citam-se Reator, Câmara de Combustão, Sistema de Depuração de Gases. (SEA, 2013)

Dentre as vantagens do processo são, a tecnologia não produz nenhum subproduto contaminante líquido, sólido ou gasoso, satisfazendo as normas ecológicas mais restritas por não ter nenhuma emissão tóxica ou contaminante; Aproveita e valoriza a totalidade dos recursos de dois modos: gerando energia e obtendo basalto vítreo como subproduto sólido, o qual retém na sua matriz os elementos potencialmente contaminantes e, ao mesmo tempo possui um “valor e uso comercial”; Grande Versatilidade de tratamento: pode tratar diversos resíduos que podem divergir tanto em natureza, como estado, volume, etc.; Flexibilidade do processo: o processo de gaseificação não é função do PCI dos resíduos, o que permite uma ampla faixa de tratamento;

Elevada eficiência do processo: uma tocha de plasma converte a energia elétrica em energia térmica com uma eficiência superior a 80%; Modularidade da planta: projeto compacto e eficiente tanto para a sua operação como manutenção. Os módulos são projetados de tal forma que são facilmente transportáveis e para que sejam reduzidos os tempos de montagem e início das operações; Mínimo impacto ambiental: cada planta adapta-se à localização onde vai ser instalada, assim como às condições ambientais do entorno; Reduções de volume extremamente elevadas, podendo ser superiores 99%; Viabilidade econômica: os custos operativos e de investimento são menores que para os tratamentos térmicos convencionais, a eficiência energética é claramente superior, com o qual os resultados de operação da planta são melhores. (SEA, 2013).

Como desvantagens observam-se que a tecnologia requer volume e composição do gás de síntese muito estável; Controle exaustivo do oxigênio que entra no gaseificador; Necessidade de utilizar um catalizador para otimizar o rendimento, entre um 1%-3% das toneladas de resíduos entrantes no gaseificador (problemas de envenenamento do catalizador);

O gás de síntese possui partículas, ácido clorídrico e ácido sulfúrico que devem ser eliminadas antes do seu aproveitamento na turbina. Também é gerado certo nível de NOx que terá de ser eliminado em fases posteriores de depuração de gases; Não é certa a comercialização de todos os subprodutos que são derivados do processo: torta de enxofre e o basalto vitrificado. (SEA, 2013)

#### 4. 5. Tecnologia de Desinfecção Térmica

A desinfecção térmica esteriliza o lixo infectante em unidade de tratamento. Após a desinfecção o resíduo é triturado e disposto como resíduo classe IIB no aterro sanitário. O sistema de tratamento de resíduos de serviço de saúde por autoclavação possui tecnologia própria de construção. O ciclo diferenciado de processamento, com pulsação inicial de aquecimento proporciona rápida elevação da temperatura da carga. O agente esterilizante dos resíduos contaminados e o calor úmido e o veículo e o vapor a uma pressão de 3,5kg por cm<sup>2</sup>, atingindo a temperatura de processo de 140 c. O resultado é a inativação total dos microorganismos presentes, para a descaracterização e dispostos em aterro sanitário. Como benefícios da Desinfecção Térmica, temos a esterilização dos resíduos (redução das infecção hospitalar); tratamento próximo as fontes geradoras (centros cirúrgicos, laboratório de patologia); impacto ambiental zero (sem emissão de gases, líquidos e sólidos prejudiciais ao meio ambiente); Redução do volume de resíduos; Baixo custo operacional (não requer obra civil, mão de obra qualificada). (APPLETON et al, 2005).

O tratamento térmico é um dos processos mais comuns empregados pelas indústrias de processo e de manufatura. Existem várias tecnologias eletrotérmicas como a indução, a frequência de rádio, a resistência direta, o infravermelho e aquecimento por micro-ondas, que utilizam todas as partes específicas do espectro eletromagnético. O aquecimento por micro-ondas tem sido empregado na indústria alimentícia e de borracha, mas há um crescente interesse por seu potencial de uso em outros processos, como os caso de tratamento de RSU (APPLETON *et al*, 2005).

##### 4.5.1. Micro-ondas

A faixa de frequência de micro-ondas situa-se ente 300 MHz e 300 GHz, a maioria com aplicações de micro-ondas situando-se entre 3 e 30 GHz (APPLETON *et al*, 2005). A pirolise de micro-ondas usa o calor gerado por micro-ondas para atingir essas temperaturas

em uma fração do tempo de técnicas de aquecimento convencionais. No entanto, uma série de problemas potenciais são inerentes a esse aquecimento rápido, incluindo o fenômeno *botspost* ou seja, um tipo de instabilidade térmica, que surge em decorrência da dependência não linear das propriedades eletromagnéticas e térmicas do material (REIMBERT, 1996 *apud* APPLETON *et al*, 2009).

A formação de ondas estacionárias dentro da cavidade do micro-ondas tem como consequência a exposição de algumas regiões a uma energia mais elevada do que outra. Isso resulta em um aumento da taxa de aquecimento devido à dependência não linear. Desse modo, o projeto da cavidade é um fator importante no controle, ou a utilização, do supracitado fenômeno (JONES *et al*, 2002; APPLETON *et al*, 2009). No entanto nem todos os materiais podem ser aquecidos rapidamente por micro-ondas. Os materiais podem ser classificados entre grupos, a saber (CHURCH, 1983 *apud* JONES *et al*, 2002); condutores, isoladores e absorvedores. Os materiais que absorvem a radiação de micro-ondas são chamados dielétrico, assim aquecimento por micro-ondas é também chamado de aquecimento dielétrico (JONES *et al*, 2002).

No caso de RSS, Diaz *et al* (2005) advertiram para o fato de que a desinfecção em unidades de micro-ondas não é um resultado da exposição de material às micro-ondas, mas sim em vazão do vapor produzido a partir da umidade em resíduos pela energia de micro-ondas que conseqüentemente gera a destruição dos organismos patogênicos nos RSS. Por conseguinte, os sistemas de micro-ondas no setor de tratamento dos RSS, normalmente requerem a adição de água (ou vapor) para os resíduos durante o processo de tratamento.

#### 4. 5.2. Exemplo de tecnologia de desinfecção térmica no estado do Rio de Janeiro.

A TSL AMBIENTAL, localizada no município de Macaé – RJ possui equipamentos próprios para tratamento térmico de resíduos e remediação de solo contaminado, chamados de Unidade de Dessorção Térmica. O princípio básico deste processo é a volatilização de poluentes, principalmente substâncias orgânicas derivadas do petróleo. O material contaminado passa por um pré-tratamento constituído de homogeneização e peneiramento e na sequência é encaminhado por correia transportadora para a alimentação da Unidade de Dessorção Térmica.

A dessorção ocorre no tambor rotativo que opera em temperaturas ( $t \leq 500^{\circ}\text{C}$ ) que variam de acordo com a umidade e o contaminante-alvo a serem volatilizados. Os gases provenientes do forno passam, então, por um sistema de tratamento, composto por filtro-

manga para a remoção de particulados e por um incinerador de gases para garantir a destruição completa dos poluentes presentes. O material descontaminado passa por um resfriador, podendo ser imediatamente disposto o que confere um alto grau de remoção de hidrocarbonetos na ordem de 99,5%.

O processo caracteriza-se por ser flexível, sendo efetivo para diversos materiais contaminados por derivados de petróleo, tais como, compostos orgânicos voláteis (VOCs), semi-voláteis (SVOCs), hidrocarbonetos poliaromáticos (PAHs) e outros.

Uma vantagem da tecnologia é ser um sistema móvel, na qual os equipamentos podem ser transportados e montados até o local de geração/estocagem dos materiais a serem tratados, eliminando os custos e riscos de acidentes inerentes ao transporte e manuseio destes materiais na estocagem temporária.

O material tratado pode ser re-aterrado no local, reduzindo custos de material de reposição e de transporte.

#### 4. 6. Tecnologia de Gaseificação.

O processo de gaseificação é baseado em um reator de leito fluidizado operando a pressão atmosférica acoplado a um vaso. O gás produzido neste processo é então resfriado e limpo em equipamentos convencionais. Este gás possui alto conteúdo energético e é limpo o suficiente para ser queimado em boiler a gás (ou até em turbinas a gás) sem necessitar de uma limpeza externa como é necessário em algumas plantas de incineração de resíduos convencionais. A produção de gás desta forma possibilita uma eficiência de até 30% de eletricidade. (MORRIS 1999).

A Gaseificação pode ser definida como o processo de conversão termoquímica de um material sólido ou líquido (que contem carvão na sua composição) em um combustível gasoso, através da oxidação parcial a temperaturas elevadas (reações termoquímicas numa faixa de temperaturas de 800 a 1100 °C), e em pressões atmosféricas ou maiores, até 33 bar. Utiliza-se um agente de gaseificação que pode ser ar, vapor de água oxigênio ou uma mistura destes, em quantidades inferiores à estequiométrica (mínimo teórico para a combustão), (CORTEZ, LORA, 2007).

Segundo Warnecke (2000), a gaseificação pode ser definida como processo termoquímico localizado em uma região paramétrica entre a combustão e a pirólise. Neste sentido, este processo é entendido como o tratamento termoquímico que, diferentemente da combustão, não permite a oxidação completa do carbono e do hidrogênio presentes no

combustível em CO, H<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>. Além dos gases mencionados anteriormente, o gás produzido também inclui produtos típicos de combustão: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> (em quantidades mínimas) e N<sub>2</sub> (quando o agente gaseificador é ar), assim como teores menores de hidrocarbonetos, tais como o eteno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), o etano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), entre outros.

O gás produzido num gaseificador, cujo agente de gaseificação é o ar, apresenta um poder calorífico (PCI) entre 3 e 6 MJ/Nm<sup>3</sup>, como consequência do efeito de diluição pelo nitrogênio. O mesmo é conhecido como gás pobre, devido ao seu poder calorífico ser consideravelmente menor que o do gás natural (quase 10 vezes). Quando se utiliza O<sub>2</sub> puro como agente de gaseificação, ou uma mistura O<sub>2</sub> e vapor, é possível obter um gás com PCI na faixa de 10 e 19 MJ/Nm<sup>3</sup>. O oxigênio tem um custo entre equivalente a U\$10-20 por tonelada de biomassa (WYMAN *et al*, 1992).

Os fatores que afetam o desempenho do sistema de gaseificação são:

- A razão de equivalência (comumente conhecida como fator de ar).
- O tipo de agente de gaseificação
- O tempo de residência, o qual é limitado pela velocidade de fluidização quando o processo é realizado em reatores de leito fluidizado, e para o caso dos reatores de leito fixo, principalmente pelo projeto e pela operação da grelha.
- As características da biomassa em termos físico-químicos e energéticos.
- A utilização ou não de catalisadores. Uma descrição das variáveis a considerar no processo de gaseificação é apresentada a seguir.

#### 4.6.1. Exemplo de tecnologia de gaseificação no estado do Rio de Janeiro.

Atualmente a Carbogas possui uma filial situada em Niterói, no Rio de Janeiro, com 9.000m<sup>2</sup> de área fabril. A planta de gaseificação Carbogas, caracteriza-se pela inovação tecnológica do reator de gaseificação em leito fluidizado, em regime anaeróbico, desenvolvido pela Carbogas e pela multifuncionalidade de aplicação, atendendo os mais diversos interesses. Está disponível em formato modular, com reatores de capacidade variáveis entre 10, 20, 30 e 50 GCal.

A produção do gás ocorre a partir da gaseificação de resíduos orgânicos, ou alguns inorgânicos, em cuja composição química exista cadeias carbônicas, ou seja, a grande maioria de elementos que visualizamos exceção feita às substâncias minerais inertes. Concebida inicialmente como unidade de produção de gases para a atividade industrial, onde gaseificava carvão mineral e turfa, com dezenas de unidades implantadas no Brasil e no exterior, a planta

é atualmente vista, e está direcionada, como solução definitiva para destinação de RSU (RSI / RSSS) e resíduos agrícolas, com ênfase na geração de energia elétrica mediante a utilização dos gases produzidos, obtidos no processo de reações químicas da decomposição molecular dos materiais, ocorridas no reator Carbogas.

Para uso na solução de destinação do RSU a planta de gaseificação é utilizada como solução definitiva, ou mesmo como coadjuvante. Pode ainda ser utilizada em cidades com população de menor número de munícipes, sendo recomendado para acima de 20.000 habitantes e, nesses casos, deve ser estimulado à formação de consórcios intermunicipais, como forma de atingir a viabilidade econômica de implantação da planta. Sua implantação poderá ocorrer em aterros sanitários já licenciados ou mesmo fora deles.

O aproveitamento energético no sistema de gaseificação Carbogás, quando analisado estequiometricamente considera os padrões brasileiros para o RSU doméstico: PCI 1.800 Kcal/Kg e Umidade de 56%, resultando na seguinte taxa de conversão: 1 t RSU = 0,5t de CDR com PCI médio de 2.200 Kcal/Kg; logo, 1 t CDR/h = 1,1 MW(e)/h (valores aproximados).

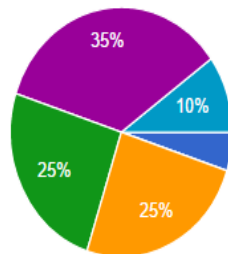
Em uma comunidade ou consórcio de 1.000.000 habitantes são produzidos diariamente, em média e com base em 0,8Kg/indivíduo - segundo convenção brasileira, 800t/dia de RSU, ou o equivalente a 400t/dia de CDR, o suficiente para gerar, no mínimo, 16,6MW/h de energia elétrica.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS POR EMPREENDIMENTOS LOCALIZADOS NO RIO DE JANEIRO.

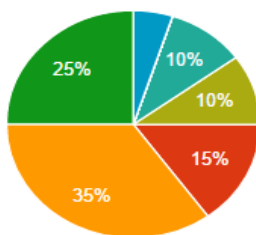
Figura 1: Na resposta 1 deste questionário, as empresas tiveram que classificar de acordo com o SEBRAE, qual o porte de seu empreendimento. Das 21 respostas que recebemos, sete empresas se declararam como grande, cinco media-grande, cinco como média empresa, uma como micro empresa e duas empresas não sabiam responder o porte, provavelmente devido à pessoa que respondeu não possuir esta informação.



Microempresa.	1	5%
Pequena Empresa.	0	0%
Média Empresa.	5	25%
Empresa Média-Grande.	5	25%
Grande Empresa.	7	35%
Não sei.	2	10%

Figura 1 – Conforme critérios de classificação do SEBRAE, em qual porte/tamanho a sua empresa se enquadra?

Figura 2: O gráfico 2 nos mostra que as empresas que atuam com tratamento térmico de resíduos, estão inseridas nos setores de petróleo e marítimo, devido esses setores serem os que tiveram maior cadastramento de contatos, além do RJ possuir grande vocação para a exploração de petróleo, óleo e gás e as empresas do setor marítimo prestando suporte a esses.



Comercial.	0	0%
Construção civil.	3	15%
Óleo e Gás.	7	35%
Marítimo.	5	25%
Metalurgia.	0	0%
Indústria Cimenteira.	1	5%
Indústria Moveleira.	0	0%
Petroquímica.	0	0%
Transportes.	0	0%
Alimentícia.	0	0%
Informática.	0	0%
Hospitalar.	2	10%
Outros	2	10%

Figura 2 – Em qual setor abaixo sua empresa é atuante?

Figura 3: O terceiro gráfico, 16 empresas disseram gerar resíduos inflamáveis, o que era esperado, tendo em vista que se tratam de empresas de óleo e gás e do setores de construção civil e marítimo. 7 dessas empresas declararam resíduos patogênicos, provavelmente mais empresas geram esse tipo de resíduos também, no entanto a pessoa que respondeu ao questionário pode não ter esta informação. 7 empresas geram resíduos corrosivos, comum da área de atuação. 4 afirmaram gerar resíduo reativo. 9 responderam que geram resíduos tóxicos. 2 empresas afirmaram não possuir conhecimento das características de periculosidade dos resíduos gerados na empresa.

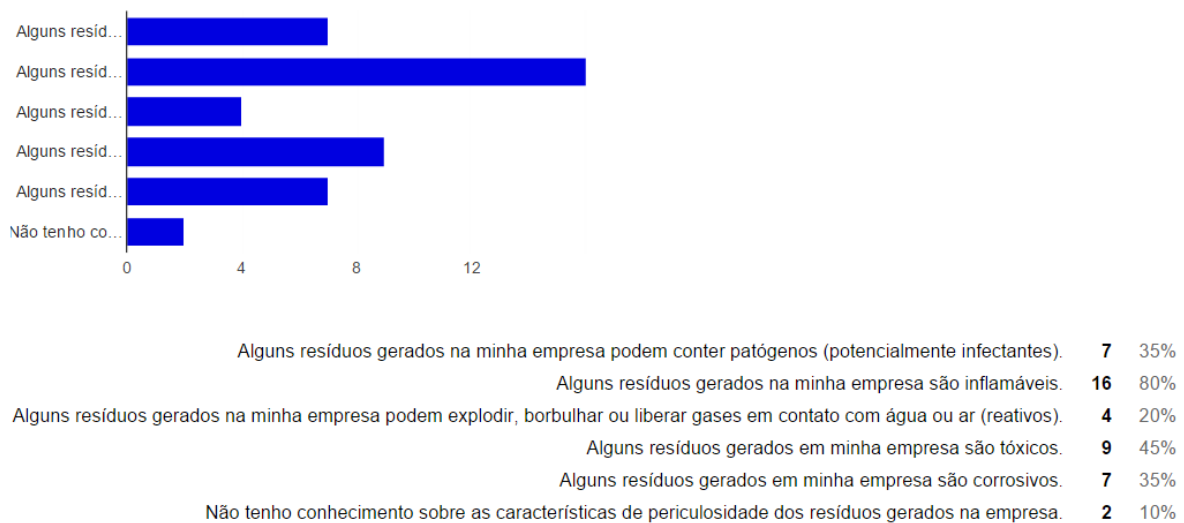


Figura 3- Assinale abaixo uma ou mais características dos resíduos perigosos gerados em sua empresa?

Figura 4: Na questão 4 a empresa deveria responder se envia algum de seus resíduos para incineração, tecnologia esta que geram poluentes e resíduos oxidáveis e oferece um baixo custo. 8 empresas afirmaram que não destinam para a tecnologia citada. 5 empresas afirmaram encaminhar resíduos inflamáveis; 2 empresas destinam seus resíduos tóxicos; 5 empresas enviam resíduos inflamáveis, prática bastante comum atualmente utilizada para resíduos com teor de patogenicidade; 4 empresas destinam outros tipos de resíduos para Incineração.



Figura 4 – A sua empresa encaminha algum desses resíduos para incineração? Assinale quais tipos de resíduos são encaminhados.

Figura 5: Na questão cinco, 7 empresas afirmam encaminhar seus resíduos para plantas de incineração dentro do estado do Rio de Janeiro; 7 empreendimentos afirmaram não realizar destinação para a tecnologia de incineração; 5 das corporações, não souberam responder, provavelmente por estarem alocados na área comercial da empresa e não possuir esta informação.

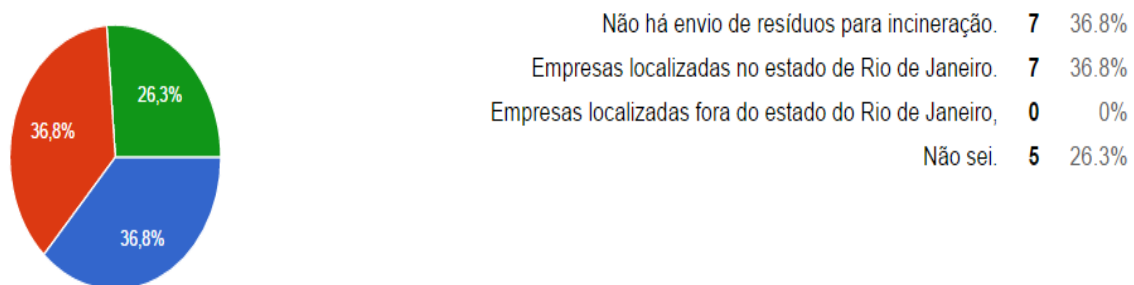


Figura 5 – Caso seus resíduos sejam encaminhados para incineração, são encaminhados para incineradores dentro ou fora do estado do Rio de Janeiro.

Figura 6: Neste gráfico observamos que 10 participantes, já ouviram falar sobre as tecnologias térmicas avançadas para tratamento de resíduos; 7 das empresas que responderam nunca tinham ouvido falar sobre as tecnologias e 3 responderam não sei; 1 empresa não respondeu a questão. Destaca-se como ponto positivo, a maioria das empresas já terem ouvido falar das tecnologias aqui abordadas, visto que são metodologias de pouco uso ainda, no Brasil.



Figura 6 – Além da incineração, existem outras tecnologias de tratamento térmico. Essas são denominadas tecnologias térmicas avançadas e podem ser exemplificadas como as tecnologias de pirólise, gaseificação e plasma térmico. Você já ouviu falar dessas tecnologias?

Figura 7: Nesta questão podemos observar que 40% das empresas que responderam ao questionário, afirmaram que não destinam resíduos para tratamento térmico; 15 % afirmam que enviam; 45% das empresas que responderam ao questionário afirmaram não ter conhecimento.

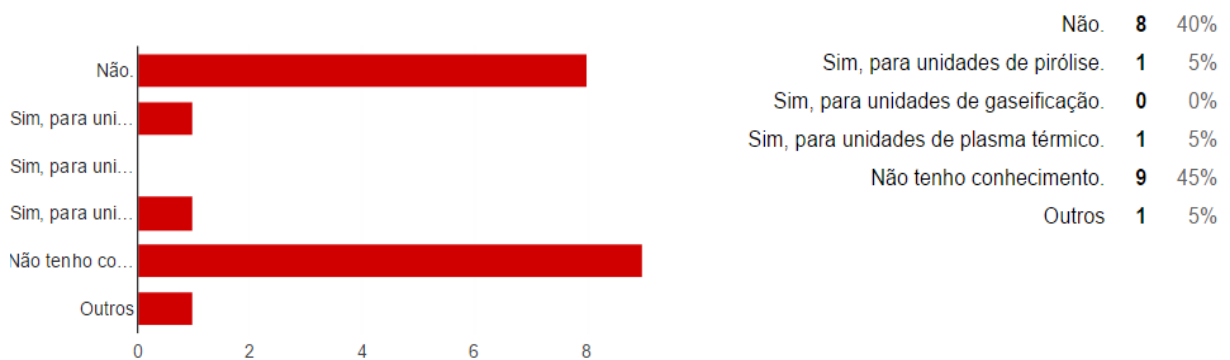
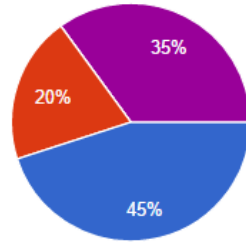


Figura 7- A sua empresa encaminha resíduos para unidades de tratamento e disposição que detenham essas tecnologias?

Figura 8: Quatro dos empreendimentos que responderam afirmaram estarem localizadas dentro do estado do rio de Janeiro, todavia apenas duas empresas disseram destinar resíduos para unidades de tratamento térmico, o que caracteriza um possível erro no preenchimento do questionário. 45 % não enviam resíduos para unidades de tratamento térmico avançados e 35% não possuem conhecimento acerca do envio desses resíduos, o que é compatível com a questão 7, onde os representantes afirma não possuir conhecimento sobre se a empresa destina resíduos para estas unidades;



Não envio resíduos para unidades de tratamento térmico avançado.	9	45%
São localizadas dentro do estado do Rio de Janeiro.	4	20%
São localizadas fora do estado do Rio de Janeiro.	0	0%
Envio resíduos para unidades localizadas dentro e fora do estado do Rio de Janeiro.	0	0%
Não tenho conhecimento acerca do envio desses resíduos.	7	35%

Figura 8 – Essas unidades de pirólise, gaseificação e plasma térmico para qual sua empresa envia resíduos são localizadas dentro ou fora do estado do Rio de Janeiro?

Figura 9: Na questão nove, observa-se que 40 % não realizam destinação de resíduos para tratamento térmico avançados, informação que corrobora com as questões 7 e 8. Neste gráfico observa-se outro erro de preenchimento, tendo em vista que somente há duas empresas que enviam resíduos para tratamento térmico avançados, era para esta informação se replicar nas respostas de cada tipo de resíduos, o que não condiz com as respostas, pois tivemos uma maior participação na composição dos tipos de resíduos.

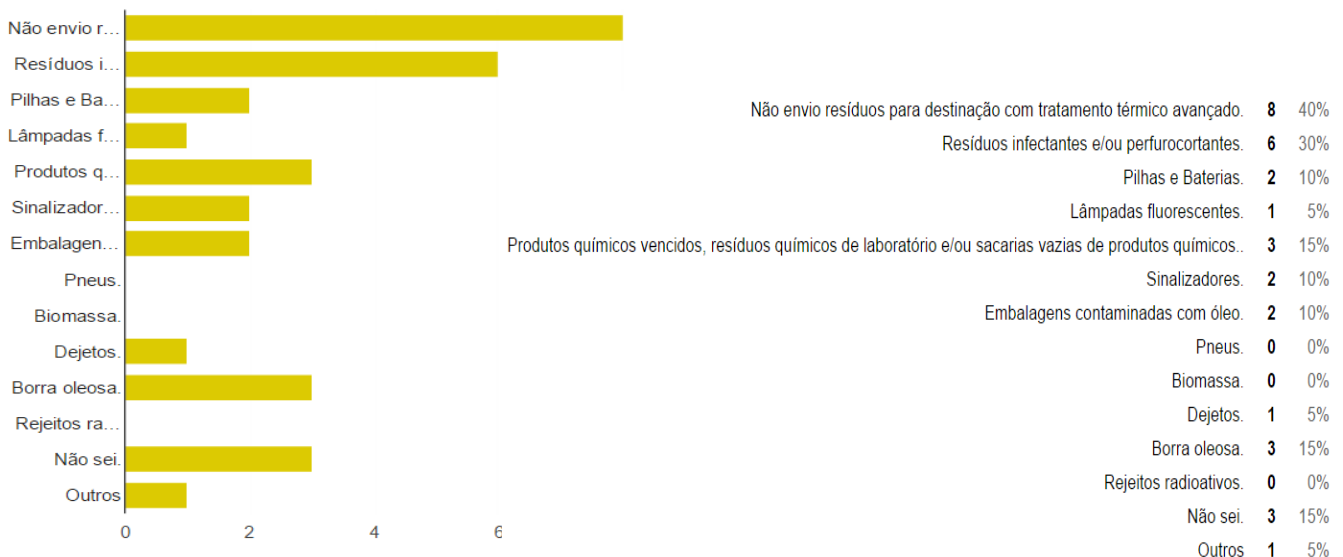


Figura 9 – Informe alguns tipos de resíduos que são enviados para tratamento térmico avançado.

Figura 10: A questão dez se dá devido ao fato de ser comum as empresas encaminharem seus resíduos para coprocessamento, um tipo de tratamento térmico mais eficiente que a incineração, além de produzir um produto com custo rentável e alto valor de mercado, que é o cimento.



Figura 10 – Por fim, a sua empresa encaminha resíduos para coprocessamento em fornos de produção de clínquer (cimenteiras)?

## 5.2. EMPREENDIMENTOS DE TRATAMENTO TÉRMICO AVANÇADOS NO BRASIL, EM ESPECIAL, NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.

Figura 11: De dez empresas contratadas, nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Rio Grande do Sul entre outros, apenas 3 (três) responderam, duas com base no Rio de Janeiro e a terceira localizada no Rio Grande do Sul. Duas empresas possuem reatores de pirólise e outra possui planta de gaseificação. Infelizmente nenhuma das empresas que possuem reatores de Plasma Térmico, responderam ao questionário, ainda que o mesmo tendo sido apresentado por diversos meses, não foi obtido resposta. Este dado nos permite avaliar que a tecnologia apresenta-se como uma destinação ambientalmente adequada cada vez mais aceita no mercado.

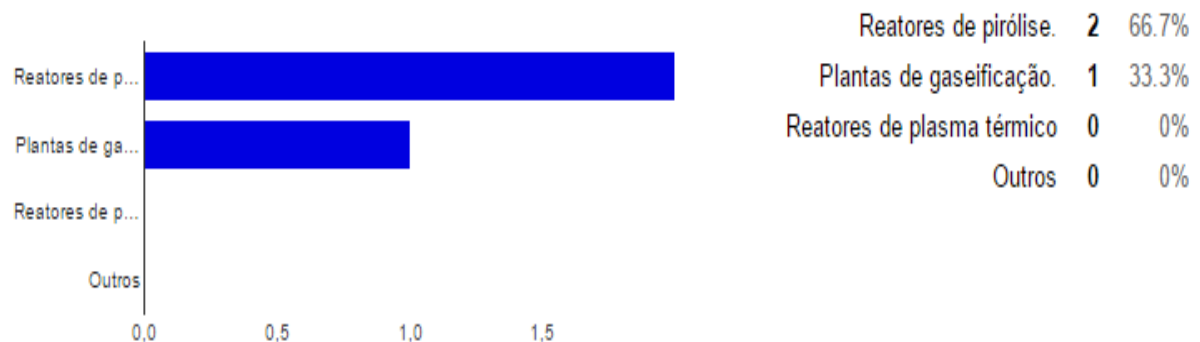


Figura 11 – Assinale o(s) tipo(s) de tecnologia(s) térmica(s) avançada(s) que sua empresa dispõe?

Figura 12: O gráfico 2, mostra a distribuição da área de atuação dos entrevistados. Podemos observar que das três empresas contatadas, duas utilizam tratamento térmico avançado para geração de energia e também para geração de materiais aproveitáveis como biogás, bio-óleos, matrizes carbonáceas. A outra respondeu que também faz tratamento de resíduos industriais, ou seja, recebe resíduos industriais e submete à Pirólise ou Gaseificação. Podemos observar também que há uma empresa que respondeu que não utiliza nenhuma das opções anteriores, gerando um questionamento da informação, dado ao nível de conhecimento de quem respondeu ao questionário sobre tratamento de seus resíduos.

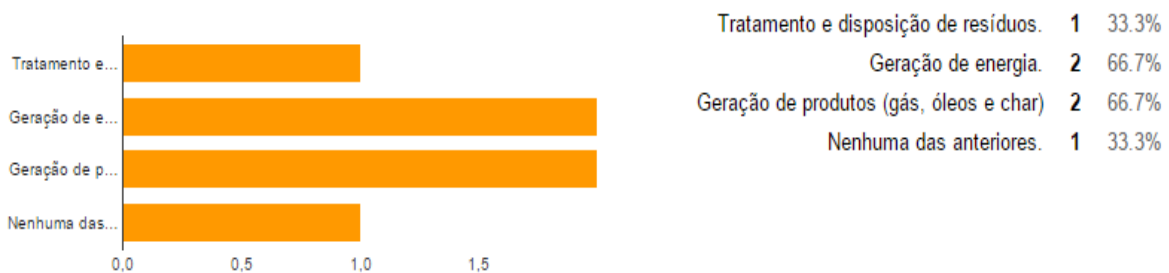


Figura 12 – Assinale o foco de atuação da sua empresa.

Figura 13: O gráfico 3 mostra que dois entrevistados possuem localização no estado do Rio de Janeiro e uma possui base no Rio Grande do Sul. Informação fundamental para a execução deste trabalho visto que o estudo trata sobre um panorama preliminar do estado do Rio de Janeiro.

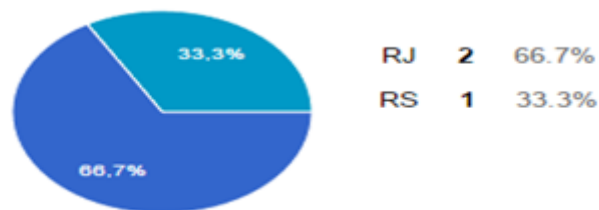


Figura 13 – Sua empresa está localizada em que estado brasileiro?

Figura 14: O gráfico 4, pode-se observar que a empresa que faz uso de tratamento de resíduos industriais, recebe resíduos de quatro tipos de empresas, com atuação em construção civil, indústria cimenteira, informática e hospitalar e outros. As outras duas empresas que dizem fazer geração de energia a partir dos reatores de Pirólise e das plantas de Gaseificação, responderam que o cliente da área de energia são os que mais procuram.

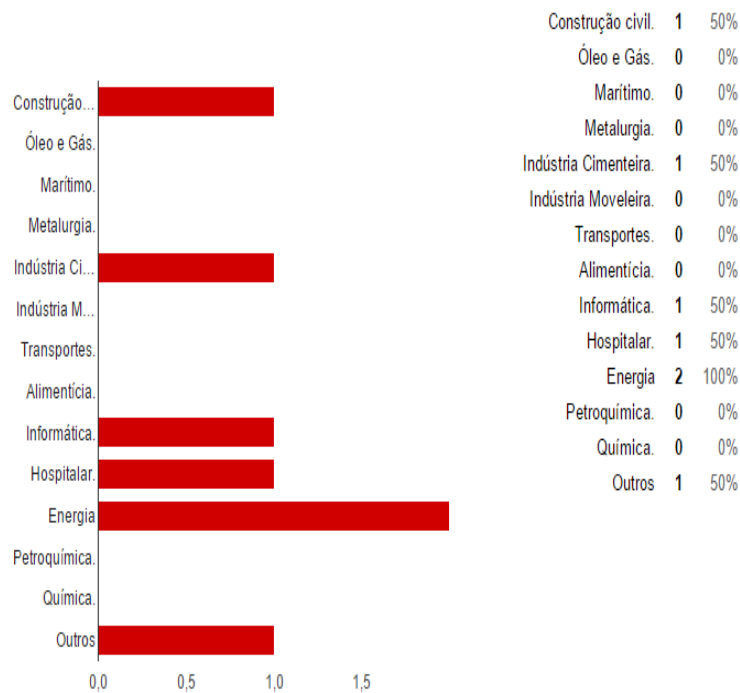


Figura 14 – Assinale o(s) setor(es) de cliente(s) que mais procura(m) o uso de tecnologias de tratamento térmico avançado para geração de produtos, geração de energia e/ou tratamento e disposição dos resíduos.



Figura 15: O gráfico 5 mostra que embora duas das empresas contatadas tenham base no Rio de Janeiro, elas não recebem nenhum tipo de matéria prima ou resíduos para geração de energia, produtos ou tratamento, de alguma empresa do Rio de Janeiro, o que demonstra que por estas três empresas não há demanda de empresas do RJ. Pode-se discutir tal informação se dá pelo fato de poucas empresas terem respondido ao questionário.



Figura 15 – sua empresa recebe matéria- prima ou resíduos para geração de energia/produtos e/ou tratamento e disposição oriundos de empreendimentos do Rio de Janeiro?

Figura 16: No gráfico 16 observamos quais os produtos ou resíduos recebidos pelas empresas contatadas. Os produtos que as empresas dos setores são, resíduos de serviços de saúde, visto que empresas de médio porte devem possuir em suas unidades postos médicos; Pilhas e baterias que são considerados resíduos perigosos e necessitam de uma destinação específica; Produtos químicos vencidos, resíduos de laboratório e/ou sacarias de produtos químicos, os quais geralmente são ligados à manutenção de equipamentos e demais; Pneus, associados à parte logística da empresa; Biomassa, que envolve tratamento de efluentes e resíduos de restaurante; Borra oleosa, como rejeitos do processo; Medicamentos vencidos, também vinculados ao serviço médico da empresa.



Figura 16 – Assinale o(s) tipo(s) de produto(s) e/ou resíduo(s) que costumam receber para geração de energia ou destinação em sua unidade?

Figura 17: As empresas responderam que têm percebido essa intenção dos empreendimentos, em trocar a tecnologia de incineração por demais tecnologias avançadas. Como justificativas, a primeira empresa afirmou, que o custo da disposição e a possibilidade da redução de suas contas de energia, o que justifica-se pela tecnologia promover energia reaproveitável através dos resíduos. A segunda empresa afirmou que as empresas buscam destinações mais eficientes, no sentido de gerar menos resíduos tóxicos e geração de energia de maneira sustentável, todavia destaca que, não há apoio governamental para tal. A terceira empresa disponibilizou o site de um de seus clientes, *Carbogás*.



**9. Justifique, por favor, em breves palavras a resposta para a questão anterior.**

O custo da disposição e a possibilidade de ter redução nas suas contas de energia

Vjea nosso cliente: <http://www.carbogas.com.br>

As empresas estão a procura de tecnologias mais eficientes, contudo, sem apoio Governamental.

Figura 17 – Você considera que as empresas têm procurado trocar a incineração como forma de tratamento e disposição de resíduos por tecnologias avançadas como Pirólise, gaseificação e Plasma térmico?

## 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Pôde-se observar também que, a maior parte das empresas participantes gera resíduos perigosos, como 80% destas, originam resíduos inflamáveis e 45% geram resíduo tóxico. Observa-se também que uma porcentagem significativa destina resíduos para incineração, sendo que 16 empresas afirmaram que sim, podendo ocorrer da mesma empresa encaminhar também, resíduos patogênicos, inflamáveis e/ou tóxicos. 7 empresas responderam encaminhar resíduos para incineradores do Rio de Janeiro. 10 empresas afirmaram já conhecer sobre tratamentos térmicos avançados. Outro ponto positivo destaca-se que 40% das empresas destinam seus resíduos para coprocessamento, uma alternativa ao aterro industrial, sendo o resíduo aproveitado, reciclado e utilizado como insumo para a indústria cimenteira, estando de acordo com a hierarquia de resíduos sólidos, proposta pela Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Menos de 2,5% dos resíduos perigosos produzidos no Estado são incinerados e apenas 13% são dispostos em aterros industriais. Para 49% desta classe de resíduos, a reciclagem é a prática mais adotada pelas indústrias (FEEMA, 2000). Esta informação coincide com os dados do Diagnóstico da Situação da Gestão Ambiental nas Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, onde as grandes e médias indústrias declararam que estão procurando investir mais na reciclagem do que na disposição final para resolver o destino dos resíduos produzidos em seus processos (FIRJAN & FGV, 2002).

Uma alternativa importante implementada no Estado foi a Bolsa de Resíduos do INEA, atualmente em parceria com a FIRJAN (Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro), onde várias indústrias podem se cadastrar e disponibilizar seus resíduos (na maioria, não-inertes), realizando uma livre negociação entre as partes interessadas. É uma forma de reciclar os resíduos, antes que os mesmos tenham que passar por recuperação energética ou disposição.

Dados do Diagnóstico da Situação da Gestão Ambiental nas Indústrias do Estado do Rio de Janeiro descrevem que 71% das pequenas indústrias da Região Centro-Norte do Estado do Rio (municípios de Bom Jardim, Cachoeira de Macacu, Cantagalo, Carmo, Cordeiro, Duas Barras, Macuco, Nova Friburgo, Santa Maria Madalena, São Sebastião do Alto, Sumidouro, Teresópolis e Trajano de Moraes) declararam realizar a disposição adequada dos resíduos sólidos não perigosos. Todavia, nesses municípios são encontrados vazadouros e aterros controlados e, provavelmente, essas indústrias não estão retirando seus

resíduos para encaminhá-los para outro município que possua um aterro com infra-estrutura adequada. Desta forma, pode-se supor que muitas destas indústrias consideram a disposição dos resíduos nas áreas existentes em seus municípios como adequada, (FIRJAN & FGV, 2002). Uma vez que, para 42% das pequenas empresas, a falta de informações técnicas é a maior dificuldade encontrada para alcançar a melhoria ambiental (FIRJAN & FGV, 2002), não se pode garantir que essas mesmas empresas têm conhecimento e avaliação técnica suficientes para verificar se o que elas consideram disposição adequada dos resíduos, é realmente adequada ou não.

Indústrias petroquímicas e de produtos químicos orgânicos são as principais fontes de resíduos industriais como óleos usados, solventes e borras oleosas, que contêm em sua composição vários compostos orgânicos, como HPAs, fenóis, benzeno, tolueno e xilenos (ABNT, 1987b; FEEMA, 2000). Diante de possíveis problemas, muitas indústrias estão dispostas a pagar para que a destinação final de seus resíduos seja adequada. Esta decisão, contudo, diz respeito a uma minoria formada por grandes empresas e multinacionais que possuem mão-de-obra especializada, capaz de escolher o melhor destino para cada tipo de resíduo e até mesmo enviá-los para outros estados, se considerarem escassas as alternativas existentes no Estado do Rio de Janeiro. Os incineradores industriais que prestam serviços a terceiros estão localizados em sua maioria no Estado de São Paulo (capacidade total de 26.000 t/a em 5 unidades) (FIRJAN & FGV, 2002).

## CONCLUSÃO

- Das 50 empresas contatadas, 21 empresas, principalmente dos setores de óleo e gás e marítimo, responderam o questionário e declararam gerar principalmente resíduos perigosos inflamáveis e patogênicos.
- Apenas 10% dessas empresas declarou encaminhar resíduos para tratamentos térmicos avançados como pirólise e plasma térmico.
- Cerca de 40% das empresas contatada destinam para incineração e coprocessamento
- Os tipos de resíduos que essas empresas declararam ser destinados a tratamento térmico avançado, incineração e coprocessamento são principalmente borra oleosa, resíduos patogênicos, pilhas e baterias, dejetos e lodos industriais.
- A destinação de 50% de resíduos perigosos para recuperação energética (40% para incineração/coprocessamento) e 10% (tecnologias térmicas avançadas) é um resultado favorável à Política Nacional de Resíduos Sólidos, visto que esses resíduos estão sendo destinados ao invés de dispostos em aterros sanitários.
- Três empresas, dentre 10 contatadas, especializadas em tratamento térmico avançado responderam o segundo questionário desse estudo.
- Duas das empresas acima declararam possuir reatores de pirólise e estarem localizadas no Rio de Janeiro e uma declarou possuir reator de gaseificação e estar localizada no Rio Grande do Sul.
- Estas três empresas declararam receber matéria-prima, produtos ou insumos de empresas que não estão localizadas no Rio de Janeiro, principalmente para geração de energia e também para tratamento de resíduos e geração de produtos (óleo, char e gás).
- Entre os produtos recebidos estão: pilhas e baterias, produtos químicos vencidos, biomassa, lodos industriais, borra oleosa e medicamentos vencidos.
- Mais estudos são necessários para o desenvolvimento de um panorama robusto do uso de tratamento térmico avançado para o tratamento de resíduos perigosos no estado do Rio de Janeiro.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004. Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71p.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama de resíduos sólidos no Brasil- 2013. São Paulo: Abrelpe; 2013. 114p.
- ALMEIDA. Márcio Marinho, gerente da unidade de Belford Roxo-RJ da Foxx Haztec: <http://www.quimica.com.br/pquimica/29750/incineracao-responsabilidade-ambiental-mantem-aquecida-a-demanda-pelo-processamento-de-residuos/>>. Acesso em 24 de novembro de 2015.
- ANÔNIMO, 1998. Passivo ambiental: Um assunto em destaque. Meio Ambiente Industrial, No 13, ago/set. 1998, págs. 59-6.
- APPLETON, T.J.; COLDER, R.I.; KINGMAN, S.W.; LOWDRES, I.S.; READ, A.G. Microwave Technology for energy efficient processing of waste. Applied Energy. V. 81, n.1 p.85-113, May 2005.
- ARAÚJO LMS. Trabalho, Sociabilidade e Exclusão Social: O Caso dos Bagulhadores do Lixão de Aguazinha [dissertação]. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1997.
- ASSUNÇÃO, J. R.; PESQUERO, C. R. Dioxinas e furanos: origens e riscos. Revista de Saúde Pública Journal of Public Health, v. 33, n. 5, p. 523 - 30. 1999.
- BORGES, Paulo Roberto. Utilização de resíduo de lã de vidro em fabricação de concreto [manuscrito] / Paulo Roberto Borges. – 2007. xvii, 129 f. : il. color., graf., tabs
- BRASIL. Política Nacional de Resíduo Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 2 de agosto de 2010.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Planos de Gestão de Resíduos Sólidos: manual de orientação: apoiando a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos: do nacional ao local. Brasília: MMA, 2012. 157p
- BUEKENS, A. Incineration Technologies. London: Springer, 2013. 107p
- CALDERONI S. Os bilhões perdidos no lixo. 3ª ed. São Paulo: Humanitas Livraria/FFLCH/USP; 1999.
- COSTA, et al. Produção de Energia elétrica a partir de resíduos Sólidos urbanos, Trabalho de Graduação Interdisciplinar/FAAP, São Paulo, 2006.
- CORTEZ, L.A.B., LORA, E.E.S. Tecnologias de Conversão Energética da Biomassa, Coordenadores:., 2da Edição, Editora da Unicamp, 2007.
- D'ALMEIDA MLO, VILHENA A. Lixo municipal: Manual de Gerenciamento integrado. 2ª ed. São Paulo: IPT/CEMPRE; 2000.
- DIAZ, L. F.; SAVAGE G. M.; EGGERT L. L.; Alternatives for the treatment and disposal for the healthcare wastes in developing countries. Waste Management. V.25, p 626-637, 2005.

EID, H.; STARK, T.; EVANS, W.; SHERRY, P. Municipal Solid Waste Slope Failure. I: Waste and Foundation Soil Properties. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, v. 126, n. 5, p. 397-407. 2000

EPA - Environmental Protection Agency. Safe Hazardous Waste Recycling (EPA530-E-00-001d). Solid Waste and Emergency Response (5306W), 2000. 04p.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: guia de orientação para governos municipais de Minas Gerais/ Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: FEAM, 2012. 163p.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. F981a Análise técnica e ambiental da utilização de resíduos sólidos urbanos na produção de cimento (coprocessamento) / Fundação Estadual do Meio Ambiente. --- Belo Horizonte: Feam, 2010. 38 p.; il

FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente), 2000. Gestão de Resíduos - Relatório Semestral de Atividades do Programa de Despoluição da Baía de Guanabara - Setembro/2000. Rio de Janeiro: FEEMA.

FIRJAN (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO) & FGV (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS), 2002. Diagnóstico da situação da gestão ambiental nas indústrias do Estado do Rio de Janeiro. Súmula Ambiental – Edição Especial. Junho de 2002. Rio de Janeiro: Gerência de Meio Ambiente da FIRJAN.

FoE - Friends of Earth. Pyrolysis, Gasification and Plasma. Briefing, January. London: FoE, 2009. 07p.

FURTADO, M. Rigor ambiental aumenta demanda por incineradores. *Revista Química e Derivados*, v. 35, n. 384, 2000.

FURTADO, 2010. Disponível em: <<http://www.quimica.com.br/pquimica/8633/tratamento-de-residuos-tecnologias-termicas-para-tratar-residuos-ainda-sofrem-com-a-concorrencia-dos-aterros-mas-tem-boas-perspectivas/>>. Acesso em 20 de novembro de 2015.

GOMEZ, E.; RANI, D. A.; CHEESEMAN, C. R.; DEEGAN, D.; WISE, M.; BOCCACCINI, A. R. Thermal plasma technology for the treatment of wates: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 161, nº2-3, p. 614-626, 30 janeiro 2009.

HENRIQUES, Rachel Martins. Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica. Niterói: 98 O Aproveitamento Energético do Biogás em Aterros Sanitários: Unindo o Inútil ao Sustentável. Universidade Federal Fluminense, 2004.

IBAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos / José Henrique Penido Monteiro ...[et al.]; coordenação técnica Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200p.

IEA – International Energy Agency. Greenhouse gás emissions, the energy dimension. Michigan: OECD, 1997. 199p.



KUMAR, M. N. V. R. A review of chitin and chitosan applications. *React. Funct. Polym.*, v. 50, n. 4, p. 379-386. 2000.

K. MOUSTAKAS A, D. FATTA B, S. MALAMIS A, K. HARALAMBOUS A, M. LOIZIDOU A. Demonstration plasma gasification/vitrification system for effective hazardous waste treatment. *Journal of Hazardous Materials B123* (2005) 120–126.

LAR-UERJ. Laboratório da Análise de Resíduos/ Universidade do Estado do Rio de Janeiro. *Tecnologia de Plasma*. 2011. 11p.

NAKAGAWA M. I.; SHINOTSUKA L.Y. Avaliação do Ciclo de Vida da Incineração de um Resíduo Sólido Urbano. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2014.

OLIVEIRA, Luciano Basto. Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil. [Rio de Janeiro] 2004 - X, 237 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Planejamento Energético, 2004) - Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

PARO, A.C.; COSTA, F. C.; COELHO, S. T.. Estudo comparativo para o tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos: Aterros Sanitários X Incineração. *Revista Brasileira de Energia*, v. 14, n. 2, p. 113-125. 2008

RIO DE JANEIRO. Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio de Janeiro: Relatório Síntese. Rio de Janeiro: Governo do Estado do Rio de Janeiro/ SEA/INEA, 2013. 140p.

ROCCA, A.C.C.; IACOVONE, A.M. & BARROTTI, A.J., 1993. Resíduos Sólidos Industriais. São Paulo: CETESB. 1991.

SEA. Consultoria e Assessoria Técnica de Engenharia à SEA para Elaboração do Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS). Volume 5: Avaliação de Alternativas Tecnológicas Agosto, 2013 – Rev.00

SENA, Tiago. Levantamento dos Resíduos Sólidos Gerados em uma Empresa de Refino de Petróleo. 2013. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

SISINNO, C.L.S. e OLIVEIRA, R.M. Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde: uma visão multidisciplinar. ISBN: 85-85676-80-9. 3ª reimpressão: 2006. 2ª reimpressão: 2003. 1ª reimpressão: 2002 (1ª edição: 2000).

TOLMASQUIM, M. T. (Org.). Fontes renováveis de energia no Brasil. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 515p.

WARNECKE, R. Gaseificação of biomass: Comparison of fixed bed and fluidized bed gasifier, *Biomass and Bioenergy*, vol. 18, p. 489-497, 2000.

## APÊNDICES

Questionário 1 : . COLETA DE DADOS SOBRE EXISTÊNCIA E LOCALIZAÇÃO DE UNIDADES DE TRATAMENTO TÉRMICO POR TECNOLOGIAS AVANÇADAS NO RIO DE JANEIRO.

1. Conforme os critérios de classificação do SEBRAE, em qual porte/tamanho a sua empresa se enquadra?

- ( ) Microempresa. ( ) Empresa Média-Grande.  
 ( ) Pequena Empresa. ( ) Grande Empresa.  
 ( ) Média Empresa. ( ) Não sei.

2. Em qual setor abaixo sua empresa é atuante?

- ( ) Comercial. ( ) Óleo e Gás.  
 ( ) Construção civil. ( ) Marítimo.  
 ( ) Metalurgia. ( ) Indústria Cimenteira.  
 ( ) Indústria Moveleira. ( ) Petroquímica.  
 ( ) Transportes. ( ) Alimentícia.  
 ( ) Informática. ( ) Hospitalar.

Outro: \_\_\_\_\_

3. Assinale abaixo uma ou mais características dos resíduos perigosos gerados em sua empresa?

- ( ) Alguns resíduos gerados na minha empresa podem conter patógenos (potencialmente infectantes).  
 ( ) Alguns resíduos gerados na minha empresa são inflamáveis.  
 ( ) Alguns resíduos gerados na minha empresa podem explodir, borbulhar ou liberar gases em contato com água ou ar (reativos).  
 ( ) Alguns resíduos gerados em minha empresa são tóxicos.  
 ( ) Alguns resíduos gerados em minha empresa são corrosivos.  
 ( ) Não tenho conhecimento sobre as características de periculosidade dos resíduos gerados na empresa.

4. A sua empresa encaminha algum desses resíduos para incineração? Assinale quais tipos de resíduos são encaminhados.

- ( ) Não há encaminhamento de resíduos para incineração.

- Resíduos patogênicos.
- Resíduos reativos.
- Resíduos inflamáveis.
- Resíduos corrosivos.
- Resíduos tóxicos.

Outro: \_\_\_\_\_

5. Caso seus resíduos sejam encaminhados para incineração, são encaminhados para incineradores dentro ou fora do estado do Rio de Janeiro?

- Não há envio de resíduos para incineração.
- Empresas localizadas no estado de Rio de Janeiro.
- Empresas localizadas fora do estado do Rio de Janeiro,
- Não sei.

6. Além da incineração, existem outras tecnologias de tratamento térmico. Essas são denominadas tecnologias térmicas avançadas e podem ser exemplificadas como as tecnologias de pirólise, gaseificação e plasma térmico. Você já ouviu falar dessas tecnologias?

- Sim.  Não.
- Não sei.

7. A sua empresa encaminha resíduos para unidades de tratamento e disposição que detenham essas tecnologias?

- Não.  Sim, para unidades de plasma térmico.
- Sim, para unidades de pirólise.  Sim, para unidades de gaseificação.
- Não tenho conhecimento. Outro: \_\_\_\_\_

8. Essas unidades de pirólise, gaseificação e plasma térmico para qual sua empresa envia resíduos são localizadas dentro ou fora do estado do Rio de Janeiro?

- Não envio resíduos para unidades de tratamento térmico avançado.
- São localizadas dentro do estado do Rio de Janeiro.
- São localizadas fora do estado do Rio de Janeiro.
- Envio resíduos para unidades localizadas dentro e fora do estado do Rio de Janeiro.
- Não tenho conhecimento acerca do envio desses resíduos.

9. Informe alguns tipos de resíduos que são enviados para tratamento térmico avançado.

- Não envio resíduos para destinação com tratamento térmico avançado.
- Resíduos infectantes e/ou perfurocortantes.
- Pilhas e Baterias.  Embalagens contaminadas com óleo.
- Lâmpadas fluorescentes.  Sinalizadores.
- Produtos químicos vencidos, resíduos químicos de laboratório e/ou sacarias vazias de produtos químicos..
- Pneus.  Biomassa.
- Dejetos.  Borra oleosa.
- Rejeitos radioativos.  Não sei.

Outro: \_\_\_\_\_

10. Por fim, a sua empresa encaminha resíduos para coprocessamento em fornos de produção de clínquer (cimenteiras)?

- Sim.  Não sei.
- Não.

**Questionário 2: ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIO SOBRE EMPREENDIMENTOS DE TRATAMENTO TÉRMICO AVANÇADO LOCALIZADOS DENTRO E FORA ESTADO DO RIO DE JANEIRO.**

1. Assinale o(s) tipo(s) de tecnologia(s) térmica(s) avançada(s) que sua empresa dispõe?

- Reatores de pirólise.  Plantas de gaseificação.
- Reatores de plasma térmico.  Outros.

2. Assinale o foco que atuação da sua empresa.

- Tratamento e disposição de resíduos.  Geração de energia.
- Geração de produtos (gás, óleos e char).  Nenhuma das anteriores.

3. Sua empresa está localizada em que estado brasileiro?

- RJ.  SP.  ES.  MG.  SC.  RS.
- PR.  GO.  TO.  MT.  MS.  BA.
- CE.  PE.  SE.  AL.  PB.  RN.
- PI.  MA.  PA.  AM.  RR.  AC.
- AP.  RO.

4. Assinale o(s) setor(es) de cliente(s) que mais procura(m) o uso de tecnologias de tratamento térmico avançado para fins de geração de energia, produtos e/ou tratamento e disposição dos resíduos.

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> Construção civil. | <input type="checkbox"/> Óleo e Gás.           | <input type="checkbox"/> Marítimo.            |
| <input type="checkbox"/> Metalurgia.       | <input type="checkbox"/> Indústria Cimenteira. | <input type="checkbox"/> Indústria Moveleira. |
| <input type="checkbox"/> Transportes.      | <input type="checkbox"/> Alimentícia.          | <input type="checkbox"/> Informática.         |
| <input type="checkbox"/> Hospitalar.       | <input type="checkbox"/> Energia .             | <input type="checkbox"/> Petroquímica.        |
| <input type="checkbox"/> Outro:            |  |   |

5. Sua empresa recebe matéria-prima ou resíduos para geração de energia/produtos e/ou tratamento e disposição oriundos de empreendimentos do Rio de Janeiro?

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input type="checkbox"/> Sim, frequentemente. | <input type="checkbox"/> Sim, razoavelmente.                         | <input type="checkbox"/> Sim, às vezes. |
| <input type="checkbox"/> Não.                 | <input type="checkbox"/> Não trabalhamos com destinação de resíduos. |   |
| <input type="checkbox"/> Não sei.             |  |   |

6. Assinale o(s) tipo(s) de produto(s) e/ou resíduos(s) que costumam recebidos para geração de energia ou destinação em sua unidade?

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Resíduos infectantes e/ou perfuro cortantes.  | <input type="checkbox"/> Pilhas e Baterias.                                    |
| <input type="checkbox"/> Lâmpadas fluorescentes.   |  |
| <input type="checkbox"/> Produtos químicos vencidos, resíduos químicos de laboratório e/ou sacarias vazias de produtos químicos. |  |
| <input type="checkbox"/> Sinalizadores.  | <input type="checkbox"/> Embalagens contaminadas com óleo.                     |
| <input type="checkbox"/> Pneus.  | <input type="checkbox"/> Biomassa <input type="checkbox"/> Dejetos.            |
| <input type="checkbox"/> Borra oleosa.   | <input type="checkbox"/> Rejeitos Radioativos                                  |
| <input type="checkbox"/> Lodos industriais   | <input type="checkbox"/> Carvão Mineral. <input type="checkbox"/> Gás Natural. |
| <input type="checkbox"/> Combustíveis a base de óleo.  | <input type="checkbox"/> Medicamentos vencidos.                                |
| <input type="checkbox"/> Outro.  |  |

7. Seria possível assinalar qual ou quais matéria-prima(s) ou resíduo(s) abaixo costumam ser mais recebidos de EMPRESAS LOCALIZADAS NO RIO DE JANEIRO?

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Não.  |  |
| <input type="checkbox"/> Não recebo matéria-prima ou resíduos de empresas localizadas no estado do Rio de Janeiro.               |  |
| <input type="checkbox"/> Resíduos infectantes e/ou perfuro cortantes.  | <input type="checkbox"/> Pilhas e Baterias.                                    |
| <input type="checkbox"/> Lâmpadas fluorescentes.   |  |
| <input type="checkbox"/> Produtos químicos vencidos, resíduos químicos de laboratório e/ou sacarias vazias de produtos químicos. |  |
| <input type="checkbox"/> Sinalizadores.  | <input type="checkbox"/> Embalagens contaminadas com óleo.                     |
| <input type="checkbox"/> Pneus.  | <input type="checkbox"/> Biomassa <input type="checkbox"/> Dejetos.            |
| <input type="checkbox"/> Borra oleosa.   | <input type="checkbox"/> Rejeitos Radioativos                                  |
| <input type="checkbox"/> Lodos industriais   | <input type="checkbox"/> Carvão Mineral. <input type="checkbox"/> Gás Natural. |
| <input type="checkbox"/> Combustíveis a base de óleo.  |  |

8. Você considera que as empresas têm procurado trocar a incineração como forma de tratamento e disposição de resíduos por tecnologias avançadas como pirólise, gaseificação e plasma térmico?

Sim.                       Não.                       Não sei.

9. Justifique, por favor, em breves palavras a resposta para a questão anterior.

10. Você gostaria de receber uma cópia do trabalho de conclusão de curso que será realizado com o auxílio dos resultados obtidos nesse questionário?

Sim.                       Não.