

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
PECE – PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ENGENHARIA

AMANDA MARQUES DE CASTRO

Aproveitamento energético de resíduos de serviços de saúde em São Paulo

São Paulo
2016

AMANDA MARQUES DE CASTRO

Aproveitamento energético de resíduos de serviços de saúde em São Paulo

Monografia apresentada à Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Área de Concentração: Energia.

Orientadora: Profa. Dra. Suani Teixeira Coelho

São Paulo
2016

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Castro, Amanda Marques de
Aproveitamento energético de resíduos de serviços de saúde em São Paulo / A. M. Castro -- São Paulo, 2016.
58 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Resíduos 2.Gaseificação 3.Plasma 4.Tratamento térmico 5.Hospitais
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

RESUMO

CASTRO, A. M. Aproveitamento energético de resíduos de serviços de saúde em São Paulo. 2016. 58 f. Monografia – PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

Os estabelecimentos que prestam serviços relacionados à saúde humana e animal, em diferentes atividades, produzem diversos tipos de resíduos, dentre eles, resíduos considerados perigosos e que podem acarretar em danos à saúde pública se mal gerenciados. Atualmente, cerca de 2% do total de resíduos gerados no Brasil são classificados como resíduos de serviços de saúde. Independente do tipo de tecnologia utilizada para o tratamento de resíduos de serviços de saúde deverá realizar a promoção da redução da carga biológica, atendendo aos padrões de emissões sólidas, líquidas e gasosas; descaracterizar os resíduos para evitar o seu reconhecimento como Resíduos de Serviços de Saúde (RSS); além de ser economicamente viável. A gaseificação por plasma é considerada um método de tratamento de resíduos de baixo impacto ambiental, que não gera subprodutos nocivos como a incineração convencional, e ao final do gera o chamado “syngas”, que pode ser utilizado como combustível. Toda energia consumida no equipamento é gerada pelo próprio processo, sendo que a produção é suficiente para que a geração de energia excedente possa ser destinada a outros usos. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica e econômica de utilização de um gaseificador a plasma para tratamento dos resíduos do grupo A, B, D (não recicláveis) e E de um hospital de grande complexidade na zona oeste de São Paulo. Devido à baixa geração de *syngas*, em comparação às unidades com escala industrial, a viabilidade financeira se dá na redução de custos com a destinação dos resíduos.

Palavras-chave: Gaseificação a plasma, Resíduos de serviços de saúde, Resíduos infectantes, Tratamento térmico de resíduos.

ABSTRACT

CASTRO, A. M. Energy utilization of health care waste in São Paulo. 2016. 58 f. Monograph - CEPE - Continuing Education Program in Engineering from the Polytechnic School, University of São Paulo, São Paulo, 2016.

The establishments that provide human and animal health services in different activities, produce various types of waste, including, hazardous waste and may result in damage to health public if are poorly managed. Currently, about 2% of the total waste generated in Brazil are classified as wastes of health services. Regardless of the type of technology used for the treatment of medical waste must carry out the promotion of the reduction of bioburden, meeting the standards of solid, liquid and gaseous emissions; decharacterize waste to prevent its recognition as RSS; besides being economically viable. Gasification plasma is considered a method of treating waste with low environmental impact, which does not generate harmful byproducts such as conventional incineration and generates at the end of the so-called "*syngas*", which can be used as fuel. All energy consumed in the equipment is generated by the process itself, and the production is sufficient for the generation of surplus energy can be used for other purposes. This study was made to evaluate the technical and economic feasibility of using a plasma gasifier for waste treatment in group A, B, D (non-recyclable) and E of a hospital of great complexity in the west zone of São Paulo. Due to the low generation of *syngas*, compared to units with industrial scale, financial viability is given to reduce costs with the waste disposal.

Keywords: Plasma gasification, Health care waste, Infectious waste, Thermal waste treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Geração de RSU.....	14
Figura 2 - Participação das Regiões do País no Total de RSU Coletado em 2014...	15
Figura 3 - Unidade de Incineração Essencis, Município de Taboão da Serra - SP ...	24
Figura 4 - Reator pirolítico	26
Figura 5 - Fluxograma do processo de gaseificação.....	28
Figura 6 - Fluxograma esquemático de uma instalação com o processo de gaseificação por plasma.....	29
Figura 7 - Tocha de Plasma.	30
Figura 8 - CHO Power.	32
Figura 9 - Localização do hospital em estudo.	34
Figura 10 - Resíduos tratados.	36
Figura 11 - Esquema Interior 3D da unidade de gaseificação de Cheongsong, Coreia.....	38
Figura 12 - Custo de construção (milhões de US\$) de estações de tratamento de plasma de acordo com a capacidade de tratamento (TPD).	40
Figura 13 - Imagem exterior da unidade de gaseificação a plasma localizada em Cheongsong, Coreia.	57
Figura 14 – Imagem (esquerda) do plasma gerado usando maçarico de plasma de 200 kW ao lado do forno integrado. Imagem detalhada do plasma gerado (à direita).	57
Figura 15 - Características medidas de unidade de gaseificação de plasma por 1 ano.	58
Figura 16 - Imagens de tochas de plasma fabricadas pela GS Platech (à esquerda) e vista interior de maçarico de plasma (direita) instalado no forno integrado.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tratamento de RSS.....	20
Tabela 2 – Algumas unidades de plasma comerciais para tratamento de resíduos sólidos	31
Tabela 3 - Destinação dos resíduos do EAS em estudo	35
Tabela 4 - Custos de construção.....	39
Tabela 5 - Dados de funcionamento da usina	40
Tabela 6 - Avaliação econômica de uma unidade de gaseificação a plasma de 10 ton/dia para o tratamento de resíduos sólidos urbanos.....	41
Tabela 7 – Dados de implantação da UTR por gaseificação a plasma no EAS estudado	44
Tabela 8 – Cálculo de viabilidade financeira	45
Tabela 9 - Comparação financeira entre as tecnologias	46

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVO	11
3. RESÍDUOS SÓLIDOS.....	12
3.1. Resíduos de Serviços de Saúde	15
3.1.1. Classificação e Gerenciamento	17
3.1.2. Responsabilidades	18
3.1.3. Sistemas de tratamento de RSS.....	18
4. RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS.....	23
4.1. Incineração.....	24
4.2. Pirólise	25
4.3. Gaseificação	27
4.3.1. Gaseificação por plasma	28
5. ESTUDO DE CASO – TRATAMENTO DE RSS EM UM HOSPITAL DE SÃO PAULO	34
5.1. Caracterização do Hospital	34
5.2. Estimativa de Viabilidade Financeira.....	37
5.3. Licenciamento Ambiental	42
6. RESULTADOS	44
7. CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
ANEXO A - Classificação dos resíduos sólidos, de acordo com a Lei 12.305/10 – PNRS	53
ANEXO B – detalhamento sobre o processo da unidade de gaseificação a plasma de Cheongsong, Coreia	54

1. INTRODUÇÃO

Os instrumentos legais que fazem referência específica aos RSS, RDC ANVISA 306/2004 e CONAMA nº 358/2005, definem como geradores de resíduos de serviços de saúde todos os serviços relativos ao atendimento à saúde humana ou animal. Assim, além do extenso rol de instalações (inclusive móveis) enumeradas pelas Resoluções, podem ser incluídas como possíveis geradoras quaisquer atividades desenvolvidas com o mesmo fim, inclusive as ligadas ao bem-estar da população.

Os estabelecimentos que prestam serviços relacionados à saúde humana e animal, em diferentes atividades, produzem diversos tipos de resíduos. Para abrangê-los em sua totalidade, foram definidos pelas Resoluções cinco grupos relacionados ao risco, a saber: Grupo A - Infectantes, Grupo B - Químicos, Grupo C - Radioativos, Grupo D - Comum e Grupo E - Perfurocortantes. Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2006) e o Ministério da Saúde (BRASIL, 2001), a massa de RSS gerada no Brasil corresponde a cerca de 2% da massa total de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerada no país, e que desses 2%, apenas um pequeno percentual (cerca de 10 a 25%) necessitam de cuidados especiais, ou seja, são dos grupos (A, B, C ou E).

O gerenciamento de resíduos de serviços de saúde é uma tarefa bastante complexa, considerando que grande parte funciona 24 horas por dia e 365 dias por ano, gerando grandes volumes de resíduos perigosos como materiais biológicos contaminados, objetos perfurocortantes, peças anatômicas, substâncias tóxicas, inflamáveis e radioativas. Independente do tipo de tecnologia empregada ao tratamento de RSS, esta deverá promover a redução da carga biológica, atendendo aos padrões de emissões sólidas, líquidas e gasosas; descaracterizar os resíduos para evitar o seu reconhecimento como RSS, além de ser economicamente viável (IBAM, 2001).

Os processos térmicos de tratamento de resíduos são aplicáveis a qualquer resíduo que tenha em sua composição química os elementos carbono (C) e hidrogênio (H₂), e utilizam a energia térmica para desagregar determinadas substâncias presentes nos resíduos, reduzir volume, ou produzir energia. Dentre os

processos empregados, com aproveitamento energético, estão a combustão, incineração, pirólise, gaseificação e plasma (FEAM, 2012; SOUZA, 2014).

Em particular, a gaseificação por plasma é considerada um método de tratamento de resíduos de baixo impacto ambiental, que não gera subprodutos nocivos como a incineração convencional (IMBELLONI, 2012). Esta tecnologia pode processar diversos tipos de resíduos, de baixa a alta periculosidade, dentre eles os Resíduos de Saúde. No gaseificador de plasma, as matérias-primas são gaseificadas a elevadas temperaturas quando em contato com a tocha de plasma, e assim as moléculas são quebradas pelo calor e transformadas em hidrogênio, monóxido de carbono (CO), água (H₂O) e outros compostos. O gás gerado ao final do processo é chamado de gás de síntese ou “syngas”, podendo ser utilizado como combustível (SOUZA, 2014). Toda energia consumida no equipamento é gerada pelo próprio processo, sendo que a produção é suficiente para que a geração de energia excedente possa ser destinada a outros usos.

O plasma é um gás que conduz eletricidade, gerado pela dissociação das moléculas de qualquer gás devido à perda de parte dos elétrons quando a temperatura de aquecimento atinge 3.000 °C (FEAM, 2012). No estado de plasma o gás atinge temperaturas que variam entre 5.000 °C e 50.000 °C, mais tipicamente atingindo temperaturas na ordem de 15.000 °C (ENGEBIO, 2010). Estima-se que para cada tonelada de biomassa processada por hora, podem ser produzidos cerca de 700 kg/h de gás de síntese (UERJ, 2011).

Há alguns exemplos de equipamentos como estes mencionados estando em operação no mundo, como as usinas nas cidades de Utashinai (inaugurada em 2002) e Mihama-Mikata (inaugurada em 2003) no Japão, que processam resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais e lodo de esgoto; a recente usina de processamento de resíduos industriais e lascas de madeira em Morcenx, no Sul da França que está em fase de testes finais e expectativa de operação ainda em 2016. No Brasil, há relatos de algumas usinas de gaseificação a plasma em operação, porém, não há divulgação de dados concretos sobre construção, operação e custos para consulta (IMBELLONI, 2012; ENGBIO, 2010; WESTINGHOUSE, 2013¹ apud SOUZA, 2014; EUROPLASMA, 2016).

¹WESTINGHOUSE Plasma Corp. Disponível em: <http://www.westinghouse-plasma.com/waste_to_energy/> Acesso em: 23 jul 2013.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho, no contexto apresentado anteriormente, é avaliar a viabilidade técnica e econômica de utilização de gaseificador por plasma para tratamento de Resíduos de Serviços de Saúde do Grupo A, provenientes de um hospital de grande complexidade em São Paulo - SP.

O serviço de saúde em estudo, um hospital de grande porte localizado em São Paulo - SP gera aproximadamente 1300 t/ano de Resíduos Infectantes do Grupo A, que equivale à fração de resíduos com a possível presença de agentes biológicos que podem apresentar risco de infecção, gerados durante as atividades de assistência à saúde da população. Estes resíduos, devido à sua classificação, precisam passar por tratamento específico, visando à minimização do risco à saúde pública, a preservação da qualidade do meio ambiente, a segurança e a saúde do trabalhador.

A escolha pelo processo de tratamento por gaseificação a plasma se deu principalmente devido à existência de dados reais sobre o rendimento do processo, no qual a redução do volume dos resíduos após tratamento pode chegar a 99%, reduzindo consideravelmente a destinação de resíduos. A baixa disponibilidade de dados detalhados sobre outros processos de tratamento térmico também serviu como direcionamento para o estudo de implantação deste processo no hospital em estudo.

A Resolução CONAMA nº 358/05 define que sistemas de tratamento de RSS são processos que alteram as características físicas, químicas ou biológicas dos resíduos. Desta forma, o tratamento térmico de gaseificação por plasma é uma alternativa de tratamento a estes resíduos, e que apresenta vantagens ambientais como a redução do volume dos resíduos em até 99% ao final do processo, o que atenua os impactos sobre a vida útil dos aterros sanitários brasileiros, redução da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e outros contaminantes se comparado a outros tratamentos, além da possibilidade de utilização do gás de síntese como combustível em outros processos.

3. RESÍDUOS SÓLIDOS

A preocupação legal com a situação dos resíduos sólidos no Brasil teve início com a Lei Federal 2.312 de 1954, a qual estabelecia que o gerenciamento dos resíduos sólidos não deveria provocar inconvenientes à saúde e ao bem-estar públicos. Alguns anos depois esta Lei foi regulamentada pelo Decreto 49.974-A de 1961, o Código Nacional da Saúde. Em 1979, devido aos impactos causados pelos resíduos no meio ambiente, foi publicada a Portaria do Ministério do Interior - MINTER nº 53, que deu início ao controle dos resíduos sólidos no Brasil, principalmente referente ao acondicionamento, descarte e tratamento. Além disso, motivada pela preocupação com os efeitos da poluição do ar nas grandes cidades, estabeleceu a proibição da incineração de resíduos sólidos em edificações residenciais, comerciais e de prestação de serviços, o que provocou o fechamento da maioria dos incineradores existentes em hospitais, método de tratamento que, na época, predominava em todo o Brasil.

A ABNT NBR 10004 - Resíduos sólidos - Classificação, foi elaborada em 1987 e revisada em 2004, e tem como objetivo classificar os resíduos sólidos quanto à sua periculosidade, considerando seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente, identificando os resíduos conforme o processo ou a atividade que lhes deu origem e seus constituintes. Esta norma orienta os cuidados especiais que devem ser tomados pelo gerador do resíduo sólido em seu gerenciamento ao classificá-lo, identificar o potencial de risco do resíduo, bem como identificar alternativas de tratamento e destinação. De acordo com a NBR 10004:2004, resíduos sólidos são:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido [...], bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. (ABNT, 2004, p.1)

Até 2010 não existia no Brasil uma Política de Resíduos; no âmbito nacional havia apenas diretrizes para determinados procedimentos associados ao

gerenciamento de resíduos. Após longos 21 anos de tramitação no Congresso Nacional, foi aprovada a Lei 12.305 de 2010, a qual institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A PNRS reúne princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão dos resíduos sólidos, um dos grandes problemas ambientais brasileiros, tendo como alguns de seus objetivos a “não-geração, redução, reutilização e tratamento de resíduos sólidos, bem como a destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos”, entre outros diversos.

É importante destacar que a PNRS não é direcionada somente ao setor público ou a empreendimentos privados, mas a todos os envolvidos no processo de geração, gestão ou gerenciamento dos resíduos, direta ou indiretamente, incluindo os cidadãos. De acordo com esta, os resíduos sólidos são:

Materiais, substâncias, objetos ou bens descartados resultantes de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. (PNRS, 2011, p.2).

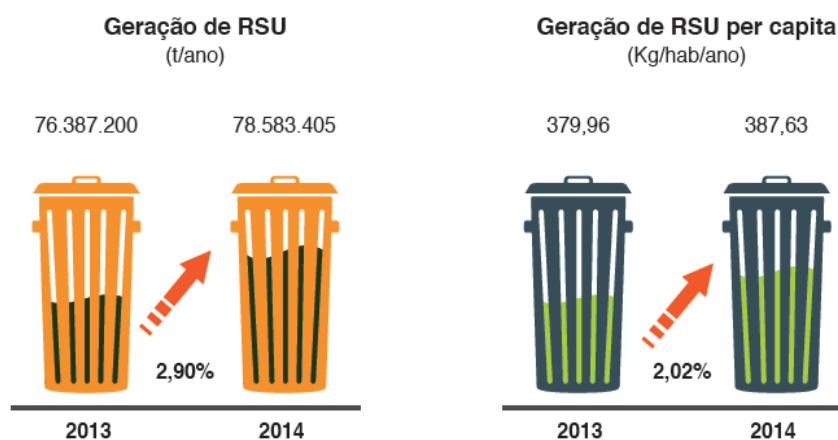
Há várias maneiras de se realizar a classificação dos resíduos sólidos. As classificações mais comuns são quanto aos riscos potenciais de contaminação ambiental e quanto à natureza ou origem. De acordo com Oliveira (2003), as atividades humanas produzem resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos, e é importante distingui-los para estabelecer o tipo de tratamento e disposição final destes resíduos. Os resíduos orgânicos são materiais que se putrificam, como papéis, madeira, restos de alimentos, fibras naturais e etc. Os inorgânicos são materiais sintéticos e de difícil decomposição, como metais, vidros, plásticos etc.

A ABNT NBR 10004:2004 qualifica os resíduos em duas classes de periculosidade, a Classe I – Perigosos (inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos e patogênicos) e a Classe II – Não perigosos, que é subdividida em duas outras classes, Classe II A - Não inertes e Classe II B – Inertes. A Lei 12.305/2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, classifica os resíduos sólidos de duas maneiras, de acordo com sua origem (domiciliares, industriais, urbanos, serviços de

saúde, etc.) e sua periculosidade (perigosos e não perigosos). A listagem completa encontra-se no Anexo A.

No âmbito estadual, a Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo, Lei 12.300 de 2006, classifica os resíduos sólidos apenas de acordo com sua origem: Resíduos sólidos urbanos, industriais, serviços de saúde, atividades rurais, provenientes de portos, aeroportos, terminais rodoviários, e ferroviários, postos de fronteira e estruturas similares, construção civil.

Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - Abrelpe (2015), a média de geração de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil em 2014 foi 78.583.405 toneladas, ou 387,63 kg/hab./ano, registrando um crescimento de 2,9% na geração *per capita*, de 2013 para 2014. Este índice percentual é superior à taxa de crescimento populacional urbano do país, que foi de 0,9% no mesmo período, conforme Figura 1.



Fontes: Pesquisa ABRELPE e IBGE

Figura 1 - Geração de RSU.
Fonte: ABRELPE, 2015.

Neste mesmo período, foram coletadas aproximadamente 71.260.045 toneladas de RSU, levando à constatação de que pouco mais de 7 milhões de toneladas deixaram de ser coletadas no país neste ano e, conseqüentemente, tiveram destino impróprio. Estes dados resultam em um índice de cobertura de

coleta de 90,6%. A Figura 2 apresenta a participação das Regiões do País no Total de RSU Coletado em 2014.



Figura 2 - Participação das Regiões do País no Total de RSU Coletado em 2014.
Fonte: ABRELPE, 2015.

3.1. Resíduos de Serviços de Saúde

Diversos termos são utilizados para definir resíduos que são provenientes dos serviços de saúde, tais como: Resíduo Sólido Hospitalar; Resíduo Biomédico; Resíduo Clínico; Resíduo Médico; Resíduo Hospitalar; Resíduo Infecioso ou Infectante (GÜNTHER,1993). Estes resíduos, antes denominados apenas “Lixo Hospitalar”, podem representar uma fonte de riscos à saúde e ao meio ambiente, devido à característica das frações sólidas e líquidas geradas como resíduos biológicos contaminados, materiais perfurocortantes, peças anatômicas, substâncias tóxicas, inflamáveis e radioativas (BRASIL, 2001).

No Brasil, os órgãos responsáveis pela legislação pertinente aos resíduos de saúde são a Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA e o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (OLIVEIRA, 2003). No Estado de São Paulo, há um importante órgão, a Companhia Ambiental do Estado de São

Paulo (CETESB), que é responsável por fiscalizar e orientar os geradores de resíduos sólidos do Estado para que não ocorra a contaminação ambiental e para garantir maior segurança à saúde pública.

Segundo Ribeiro Filho (2005), a Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 33/2003 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA², que dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde foi o primeiro regulamento Federal específico para a questão dos RSS proveniente de um órgão de saúde. Em seu Anexo, consta um regulamento técnico, que aborda aspectos do gerenciamento dos RSS desde sua geração até o destino final, além de uma nova classificação mais abrangente e detalhada.

A RDC nº 33 foi bastante criticada por parte dos interessados nos RSS, e principalmente dos órgãos estaduais e municipais, pois a ANVISA passou a contrariar as Resoluções CONAMA no que se refere à tratamento e disposição final (RIBEIRO FILHO, 2005). Este conflito conceitual dificultou o atendimento Legal simultâneo às duas resoluções, resultando em uma revisão da Resolução 238/01 pelo CONAMA, para que se tornasse compatível com as exigências e conceitos da ANVISA, que culminou na Resolução CONAMA nº 358/05. A ANVISA fez pequenas alterações na RDC nº 33/2003, publicando a Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 306 de 2004, que também dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde.

De acordo com a RDC nº 306/2004 da ANVISA, são considerados geradores de RSS os serviços relacionados com o atendimento à saúde humana ou animal, inclusive os serviços de assistência domiciliar e de trabalhos de campo; serviços de acupuntura e tatuagem, dentre outros similares. Segundo o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA nº 358/05, devido às suas características, estes resíduos necessitam de processos diferenciados em seu manejo, exigindo ou não tratamento prévio à sua disposição final.

²A ANVISA é uma autarquia Federal que tem “a competência para regulamentar e fiscalizar diversas atividades e produtos, entre os quais, os serviços de saúde e seus resíduos”, por delegação do Ministério da Saúde.

3.1.1. Classificação e Gerenciamento

Há muitas classificações para os RSS, sendo mais usual a adoção da classificação conforme a RDC nº 306/2004 e CONAMA nº 358/05 e de periculosidade conforme ABNT 10004:2004. Os resíduos do Grupo A, B, C e E (infectante, químico, radioativo e perfurocortante) são classificados como Resíduos Perigosos pela NBR 10004:2004. Os resíduos do Grupo D (comum) de acordo com a RDC nº 306/2004 da ANVISA, são sub-classificados como recicláveis e não-recicláveis e não apresentam risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares.

De acordo com Marchi (2003), a adoção de procedimentos para controlar a geração e disposição final dos resíduos de serviços de saúde tornou-se necessária, devido ao aumento da complexidade dos tratamentos médicos, novas tecnologias, equipamentos e produtos químicos aliados com o manejo inadequado dos resíduos gerados. O gerenciamento de resíduos de serviços de saúde é função extremamente complexa, pois precisam lidar com centenas de produtos perigosos, como medicamentos e reagentes. A dificuldade no gerenciamento dos RSS ocorre devido à falta de conscientização e do despreparo dos manipuladores em relação aos riscos à saúde, da diversificação dos resíduos e do volume gerado. Outro problema é que se um resíduo contaminado entrar em contato com resíduos não contaminados, acabam por contaminar o todo, portanto uma grande quantidade de materiais limpos que poderiam ser reciclados pode ser perdida facilmente (OLIVEIRA, 2003).

De acordo com Ribeiro Filho (2006), é obrigação legal de todo serviço de saúde elaborar e implantar um Plano de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde – PGRSS, a fim de eliminar suas deficiências nessa área e montar um sistema adequado de gestão dos resíduos. De acordo com Branquinho (2007), para que se possa realizar um PGRSS adequado, é preciso buscar a redução da produção de resíduos, o reaproveitamento e a reciclagem de materiais, além da sua disposição de acordo com as normas sanitárias e ambientais.

3.1.2. Responsabilidades

O gerenciamento de RSS, conforme disposto no art. 4 da Resolução CONAMA nº 05/93, mantido no art. 4 da Resolução CONAMA nº 283/01 e reiterado na RDC nº 306/04, é de responsabilidade dos geradores desses resíduos. Mesmo após a disposição final do resíduo, o gerador continua sendo responsável por este, embora ao assumir a carga, o destinatário torna-se corresponsável enquanto for possível a identificação do resíduo (BARTOLOMEU, 2011).

Mesmo não sendo responsabilidade dos municípios, alguns assumem o papel da coleta, transporte e destinação final dos resíduos de saúde, como o Município de São Paulo. De acordo com a Lei Municipal 13.478/2002, que dispõe sobre a organização do Sistema de Limpeza do Município de São Paulo, as atividades de coleta, transporte, tratamento e destinação final de resíduos sólidos; materiais de varredura residenciais; resíduos sólidos de estabelecimentos públicos, comerciais e industriais com características de classe 2 conforme NBR 10004 da ABNT; resíduos sólidos de serviços de saúde; resíduos inertes classificados como classe 3 pela NBR 10004:2004 da ABNT e resíduos de feiras livres, compete aos serviços que integram o Sistema de Limpeza Urbana do Município de São Paulo.

3.1.3. Sistemas de tratamento de RSS

De acordo com o CONAMA nº 358/05, sistema de tratamento de resíduos de serviços de saúde é o “conjunto de unidades, processos e procedimentos que alteram as características físicas, químicas ou biológicas dos resíduos, podendo promover a sua descaracterização”. Segundo Bartolomeu (2011), o tratamento de RSS “consiste na aplicação de método, técnica ou processo que modifique as características dos riscos iminentes aos resíduos, reduzindo ou eliminando o risco de contaminação”.

O tratamento é realizado visando à minimização do risco à saúde pública, a preservação da qualidade do meio ambiente, a segurança e a saúde do

trabalhador. De acordo com a RDC nº 306/04 da ANVISA, desde que observadas as condições de segurança para o transporte até o local de tratamento, este pode ser realizado no próprio estabelecimento gerador ou em outro estabelecimento.

As Resoluções CONAMA nº 358/05 e RDC306/04 instituem que os RSS por suas características, necessitam de processos diferenciados em seu manejo, exigindo ou não tratamento prévio à sua disposição final, e estabelece para cada grupo - A, B, C, D e E (inclusive aos subgrupos do grupo A) a necessidade ou não de tratamento específico no próprio estabelecimento gerador ou fora deste.

A Resolução CONAMA nº 358/05 estabelece que “resíduos do Grupo A - Infectante, não podem ser reciclados, reutilizados ou reaproveitados, inclusive para alimentação animal”. Dependendo do subgrupo (A1, A2, A3, A4 ou A5) necessitam de tratamento antes de sair da unidade geradora, outros não há necessidade, porém todos devem ser tratados antes da disposição final.

Para os resíduos pertencentes ao Grupo B - Químico, a destinação é realizada conforme as características de periculosidade, “quando não forem submetidos a processo de reutilização, recuperação ou reciclagem, devem ser submetidos a tratamento e disposição final específicos” (CONAMA nº 358/05).

Os resíduos do grupo C - Radioativo devem obedecer às exigências definidas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN. Decorrido o tempo de decaimento estes resíduos passam a ser classificados nas categorias biológica, química ou de resíduo comum, devendo seguir as determinações do grupo ao qual pertencem (CONAMA nº 358/05).

Os resíduos pertencentes ao Grupo D - Comum devem ser encaminhados para aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos, devidamente licenciado pelo órgão ambiental competente, somente quando não forem passíveis de processo de reutilização, recuperação ou reciclagem (CONAMA nº 358/05).

Os resíduos pertencentes ao Grupo E - Perfurocortante devem ter tratamento específico de acordo com a contaminação química, biológica ou radiológica, recebendo a mesma destinação destes (CONAMA nº 358/05).

A Tabela 1 resume os tipos de tratamento que cada grupo de RSS deve receber, de acordo com a RDC nº 306/04 e o CONAMA nº 358/05. Ao observar a Tabela 1, é possível perceber que apesar da harmonização das duas legislações,

ainda há algumas disparidades entre o tipo de tratamento ao qual cada grupo e subgrupo de RSS deve ser submetido.

Tabela 1 - Tratamento de RSS

	Destinação final segundo a CONAMA nº 358/05	Destinação final segundo a RDC nº 306/04
GRUPO A	A1 - Tratamento em equipamento que promova a redução da carga microbiana compatível com o nível III de inativação microbiana.	A1 - Tratamento utilizando processo físico ou outros processos para a obtenção de redução ou eliminação da carga microbiana, em equipamento compatível com o nível III de inativação microbiana, não podendo deixar a unidade geradora sem tratamento prévio.
	A2 - Tratamento com redução de carga microbiana compatível com nível III de inativação.	A2 - Devem ser submetidos a tratamento antes da disposição final.
	A3 - Tratamento térmico por incineração ou cremação, em equipamento devidamente licenciado para esse fim.	A3 - Tratamento térmico por incineração ou cremação, em equipamento devidamente licenciado para esse fim.
	A4 - Sem tratamento prévio, ficando a critério dos órgãos ambientais estaduais e municipais a exigência do tratamento.	A4 - Não necessitam de tratamento prévio.
	A5 - Tratamento específico orientado pela ANVISA.	A5 - Incineração.
GRUPO B	Devem ser submetidos à tratamento específico de acordo com suas características de periculosidade.	Devem ser submetidos à tratamento específico.

“continua”

	Destinação final segundo a CONAMA nº 358/05	Destinação final segundo a RDC nº 306/04
GRUPO B	Devem ser submetidos à tratamento específico de acordo com suas características de periculosidade.	Devem ser submetidos à tratamento específico.
GRUPO C	Devem obedecer às exigências definidas pela Comissão Nacional de energia Nuclear - CNEN.	Armazenamento, em condições adequadas, para o decaimento do elemento radioativo, conforme exigências definidas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN.
GRUPO D	Semelhante ao determinado para os resíduos sólidos domiciliares.	Semelhante ao determinado para os resíduos sólidos domiciliares.
GRUPO E	Tratamento específico de acordo com a contaminação química, biológica ou radiológica.	Dependendo da concentração e volume residual de contaminação por substâncias químicas perigosas, estes resíduos devem ser submetidos ao mesmo tratamento dado à substância contaminante.
		“conclusão”

Fonte: Adaptado de RDC nº 306/04 e CONAMA nº 358/05.

Há alguns processos comerciais disponíveis que atendem às premissas fundamentais de inativação microbiana constantes na RDC nº 306/04, como a Autoclavação, Incineração, Pirólise, Micro-ondas, Radiação ionizante, Desativação eletrotérmica e Tratamento químico (IBAM, 2001). Qualquer que seja a tecnologia de tratamento de RSS a ser adotada deverá atender a algumas premissas, como: promover a redução da carga biológica de acordo com padrões exigidos; atender aos padrões de emissões estabelecidos pelo órgão de controle ambiental do estado; ser economicamente viável em termos da economia local, e descaracterizar os resíduos para evitar o seu reconhecimento como resíduo de assistência à saúde (IBAM, 2001).

Segundo Pfítscher (2007), somente 14% dos RSS são devidamente tratados no Brasil. Grande parte é direcionada para lixões e aterros, gerando diversas formas de contaminação dos solos e das águas. Dentre os diversos métodos de tratamento de resíduos de saúde, dois são mais utilizados: incineração e autoclavação. De acordo com Bartolomeu (2011), o tratamento dos resíduos do grupo A pode se dar por desinfecção química ou térmica, como a autoclavação, micro-ondas ou incineração. Essas tecnologias permitem que após tratamento, os RSS sejam encaminhados para locais de disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU) sem que ofereça riscos à saúde pública (ANVISA, 2006).

Os sistemas para tratamento de resíduos de serviços de saúde devem ser objeto de licenciamento ambiental, de acordo com a Resolução CONAMA nº 237/97 e são passíveis de fiscalização e de controle pelos órgãos de vigilância sanitária e de meio ambiente. O CONAMA nº 358/05 complementa, afirmando que devem ser submetidos a monitoramento de acordo com parâmetros e periodicidade definidos no licenciamento ambiental.

A Resolução CONAMA nº 316/02, que dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos, estabelece procedimentos operacionais, limites de emissão, critérios de desempenho, entre outros, a fim de minimizar os impactos ao meio ambiente e à saúde pública, resultantes destas atividades. De acordo com esta, “Tratamento Térmico [...] é todo e qualquer processo cuja operação seja realizada acima da temperatura mínima de oitocentos graus Celsius”.

4. RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS

A depender de características dos resíduos como composição, umidade, poder calorífico, etc., haverá variação na eficiência do sistema de recuperação energética, ou seja, variação na energia gerada (ABRELPE, 2012).

O Brasil possui grande potencial para gerar energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos e a alternativa é aumentar a atual oferta do país em 50 milhões de megawatt-hora por ano, o que representa mais de 15% do total atualmente disponível ou cerca da metade da geração da hidrelétrica de Itaipu (MMA, 2013³ apud SOUZA, 2014).

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305/2010, o aproveitamento energético de resíduos é considerado uma destinação ambientalmente adequada, desde que observadas as normas operacionais específicas para que danos ou riscos à saúde pública e à segurança sejam evitados, bem como minimizados os impactos ambientais adversos. Além disso, segundo Abrelpe (2012), a recuperação energética pode trazer alguns resultados adicionais quando colocada em prática, pois substitui fontes fósseis de energia, possibilita a recuperação energética mais eficiente dos resíduos urbanos que estariam inutilizados ou sub-utilizados, além de reduzir a emissão de gases do efeito estufa dos aterros sanitários.

Há diversas tecnologias existentes no mercado para aproveitamento energético, a diferenciar-se pelo método de transformação do resíduo em combustíveis sólidos, gasosos e líquidos ou pela geração de energia térmica, elétrica ou cogeração. As principais tecnologias de tratamento térmico de resíduos com recuperação energética são incineração, a pirólise, a gaseificação, o plasma e o coprocessamento em forno de clínquer. Também há processos biológicos como a digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, recuperação de gás de aterro e de biodigestores (ENGEBIO, 2010; FEAM, 2012; SOUZA, 2014). Algumas tecnologias são descritas a seguir.

³MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Tipos de Resíduos**. Disponível em: <<http://www.sinir.gov.br/web/guest/residuos-solidos-urbanos>> Acesso em 16 jul 2013.

4.1. Incineração

De acordo com a ANVISA (2006), a incineração dos resíduos é um processo de oxidação a temperaturas elevadas, acima de 1000°C, que resulta na transformação de materiais com redução de volume dos resíduos e destruição da matéria orgânica, em especial de organismos patogênicos. Basicamente, trata-se de um processo de destruição térmica realizado sob altas temperaturas, entre 800°C e 1250°C, com tempo de permanência controlada. A incineração geralmente é utilizada para tratar resíduos que não podem ser reciclados, reutilizados ou dispostos em aterro sanitário (WHO, 1999). O incinerador é representado na Figura 3.



Figura 3 - Unidade de Incineração Essencis, Município de Taboão da Serra - SP
Fonte: Essencis, 2010.

Neste processo, os materiais orgânicos combustíveis são gaseificados por um período de tempo prefixado. O processo se dá pela oxidação dos resíduos com a ajuda do oxigênio (O_2) do ar, que é controlado para que ocorra a queima completa do resíduo (BARTOLOMEU, 2011). Além de reduzir volume e peso, diminui também as características de periculosidade dos resíduos (PFÍTSCHER, 2007). Possui a capacidade de redução dos resíduos orgânicos e combustíveis à matéria inorgânica e incombustível em até 15% do peso e 90% do volume iniciais (Junior; Saiani; Dourado, 2013).

Como os resíduos têm composições diversas, são gerados como produtos da combustão, além de vapor d'água, gás carbônico (CO₂), óxidos de enxofre (SO_x), ácido clorídrico (HCl), ácido fluorídrico (HF), monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado, metais como cádmio (Cd), cromo (Cr), mercúrio (Hg), Cobre (Cu), entre outros — e substâncias orgânicas (como dioxinas) na forma gasosa ou aderidas também ao material particulado. Também são gerados rejeitos (cinzas volantes e escórias) de materiais inorgânicos presentes nos resíduos que não participam das reações de combustão (FEAM, 2012).

Na combustão, a formação de dioxinas (substâncias comprovadamente cancerígenas) ocorre por mecanismos complexos, envolvendo matéria orgânica, oxigênio e cloro. Estas são destruídas a temperaturas acima de 600 °C, mas sintetizadas novamente entre 500 °C e 250 °C na presença de cloro e carbono. A maior parte das dioxinas fica retida nas cinzas volantes (FEAM, 2012). Para que a emissão de gases e cinzas atenda as recomendações da legislação, é necessária a utilização de equipamentos e instalações especiais para o seu tratamento (Junior; Saiani; Dourado, 2013). Devido à utilização destes equipamentos, torna-se um método de alto custo (PFÍTSCHER, 2007).

4.2. Pirólise

A pirólise é um tratamento térmico formado por uma série de reações complexas, iniciadas quando um material é aquecido (de 400 a 800 °C) na ausência de oxigênio. Os componentes dos RSU são decompostos em hidrocarbonetos na forma gasosa, líquida e sólida. A proporção destes varia conforme a temperatura, processo e tipo de equipamento utilizado (ABRELPE, 2012).

Apresenta-se na Figura 4 o diagrama de fluxo do processo no reator pirolítico.

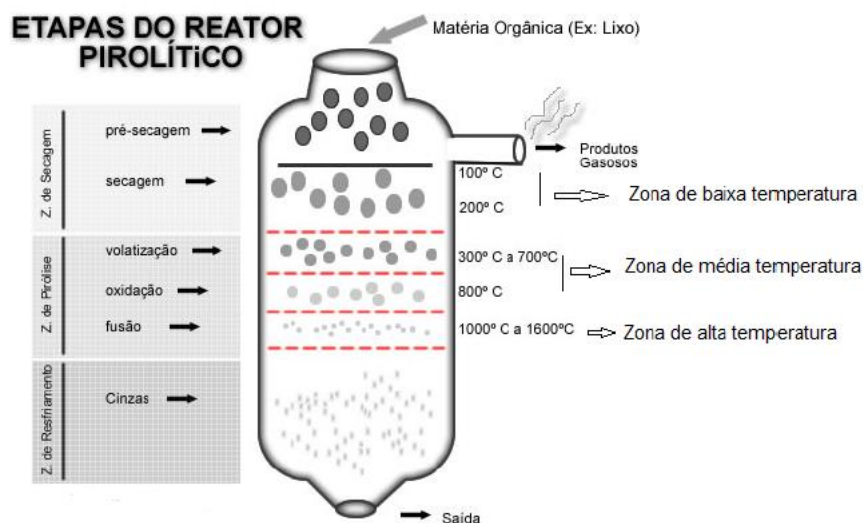


Figura 4 - Reator pirolítico
Fonte: Miranda, 2014 adaptado de Leal, 2010.

A fração gasosa é constituída de gases não condensáveis, compostos principalmente por nitrogênio (N_2) e gás de síntese (*syngas*), que podem ser utilizados para geração de energia elétrica, queimados em turbinas a gás ou motores de combustão interna, produção de vapor, dentre outros usos. A fração líquida é conhecida como líquido pirolenhoso por ser composta pelo ácido pirolenhoso (ácido acético, metanol, alcatrão solúvel e outros vários compostos em menor quantidade) e alcatrão insolúvel. O líquido pirolenhoso também pode ser utilizado como fonte energética, na agricultura ou aditivo de alimentos, dependendo da concentração de alcatrão e outros compostos tóxicos. Os materiais sólidos resultantes do processo são constituídos por carbono quase puro, além de outros materiais que não foram decompostos como vidros, metais, pedras e outros materiais inertes. Estes materiais podem ser segregados e reaproveitados como matéria prima em outros processos (LIMA, 1995⁴ apud FEAM, 2012; CAMPOS, 2007).

⁴LIMA, Luiz Mário Queiroz. Lixo: tratamento e biorremediação. São Paulo: Hemus Editora Ltda., 1995. 265p.

4.3. Gaseificação

Os gaseificadores são equipamentos com câmaras revestidas por material refratário, nas quais as temperaturas do processo atingem aproximadamente 850 °C, sob condições de pressão atmosférica ou sob elevada pressão (BRAND, 2010⁵ apud FEAM, 2012).

A gaseificação é o processo de reação do carbono e hidrogênio com o oxigênio (combustão), convertendo a matéria prima sólida ou líquida em gás de síntese (gás hidrogênio e monóxido de carbono conhecido como *syngas*), dióxido de carbono e cinzas. A maior parte dos metais alcalinos e pesados (com exceção de mercúrio, de zinco e de chumbo, que pode vaporizar à altas temperaturas e ser mantidos em cinzas volantes e *syngas*) ficam retidos na escória. Dependendo das condições há geração de dióxido de carbono, metano, hidrocarbonetos leves, nitrogênio e vapor de água em diferentes proporções (ENGEBIO, 2010; BYUN et al, 2012; FEAM, 2012).

Há diversas configurações de gaseificadores, dentre os quais, os gaseificadores de leito fixo, leito fluidizado e plasma estão entre os tipos comerciais mais comuns. O *syngas* pode ser queimado em geradores especiais para geração de energia elétrica ou utilizado como intermediário para reações que geram produtos químicos. Este gás, após os adequados processos de limpeza, pode ser utilizado como fonte de energia, mas sem necessitar de processos de limpeza mais sofisticados, como ocorre nas plantas de incineração, que necessitam de sistemas especiais para retirada das dioxinas e furanos (ABRELPE, 2012; ENGEBIO, 2010; FEAM, 2012; MORRIS, 1999⁶ apud HENRIQUES, 2004).

O agente de gaseificação - ar, o vapor, o oxigênio e a mistura de vapor-oxigênio, influi na composição dos gases de reação e determina o poder calorífico do gás à saída do gaseificador. Os processos que utilizam ar como agente oxidante produzem um gás combustível de baixo poder calorífico, devido às concentrações consideráveis de nitrogênio, segundo McKendry (2002) o poder

⁵ BRAND, Martha Andréia. Energia de biomassa florestal. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131p.

⁶MORRIS, M. W. L. Energy recovery from solid waste fuel using advanced gasification technology. International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, Orlando, Florida/EUA, University of California.

calorífico do gás produzido está na faixa de 4 - 6 MJ/Nm³. A gaseificação com vapor tem alta eficiência na conversão de energia e produção de hidrogênio (FUSHIMI et al, 2010), além de produzir um gás com um poder calorífico alto, de 13 - 20 MJ/Nm³. Os processos que usam o oxigênio como agente de gaseificação produzem um gás com poder calorífico alto, de 10 - 15 MJ/Nm³, mas não são muito usados devido ao alto custo do oxigênio (MCKENDRY, 2002). Os processos que utilizam a mistura de vapor com oxigênio produzem mais hidrogênio comparado com aqueles que usam ar (LV et al, 2007). Segundo Jangsawang et al (2007) os processos com vapor, produzem maior quantidade de hidrogênio e monóxido de carbono em comparação com o uso da mistura de ar/vapor às mesmas condições de temperatura (GALINDO, 2012).

A Figura 5 apresenta a síntese do fluxo de uma planta de gaseificação de Resíduos Sólidos Urbanos.



Figura 5 - Fluxograma do processo de gaseificação
Fonte: ERBR, [201-].

4.3.1. Gaseificação por plasma

A tecnologia de “arco de plasma”, também conhecida como “plasma pirólise”, é um processo de decomposição química de materiais na ausência de oxigênio. Quando um gás é submetido a temperaturas elevadas sofre mudanças significativas, e desta forma, ao atingir 3000°C os átomos do gás são ionizados

devido à perda de parte dos elétrons. Este gás ionizado é chamado de plasma, uma forma especial de material gasoso que conduz eletricidade (ENGEBIO, 2010).

A Figura 6 apresenta o processo de gaseificação por plasma.

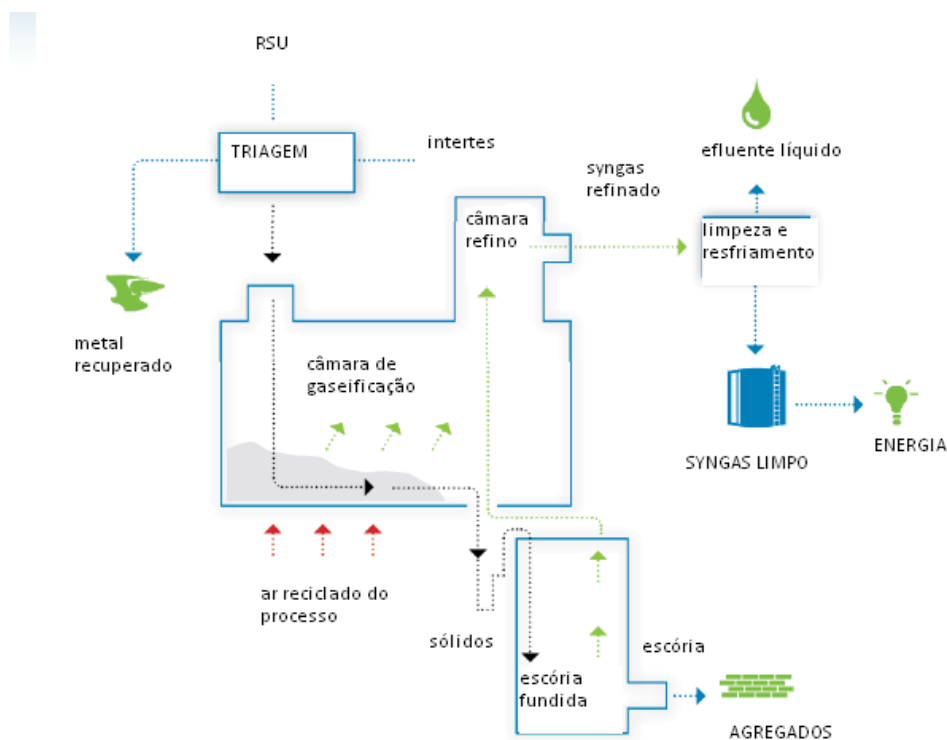


Figura 6 - Fluxograma esquemático de uma instalação com o processo de gaseificação por plasma.

Fonte: PLASCO TRAIL ROAD, 2011⁷ apud FEAM, 2012.

O plasma é gerado pela formação de um arco elétrico em tochas de plasma, dispositivos que transformam energia elétrica em calor transportado por um gás, que possuem o mesmo formato dos queimadores utilizados nos fornos (ENGEBIO, 2010). A eficiência de transformação da tocha de plasma é da ordem de 85% a 90% da energia elétrica utilizada (SOUZA, 2014). A temperatura gerada pelo maçarico de plasma pode chegar a níveis superiores à superfície do Sol (mais de 6.000 graus Celsius). No estado de plasma o gás atinge temperaturas extremamente elevadas, variando de 5.000 °C a 50.000 °C de acordo com as condições de

⁷PLASCO TRAIL ROAD. Public meeting 2011. Disponível em: <<http://www.zerowasteottawa.com/docs/PTR%20Screening%20Meeting.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2011.

geração, tipicamente as temperaturas do plasma são da ordem de 15.000 °C (ENGEBIO, 2010).

A Figura 7 apresenta a tocha de plasma.

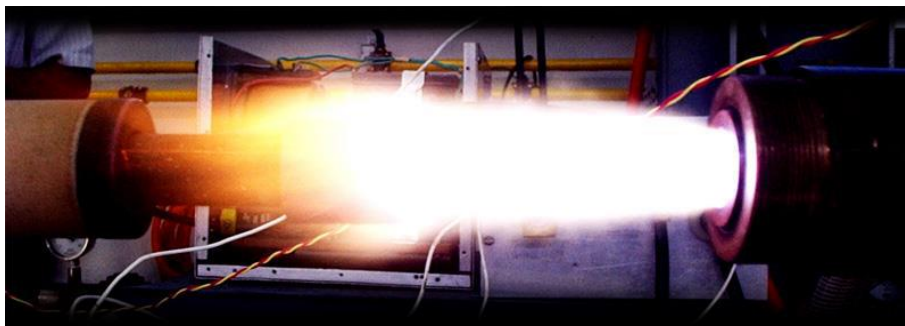


Figura 7 - Tocha de Plasma.
Fonte: Ecomassa, 2013⁸ apud Souza, 2014.

Segundo Engebio (2010), existem basicamente dois tipos de tratamento de resíduos por plasma:

- Incidência da tocha de plasma diretamente sobre os resíduos, produzindo a dissociação das ligações moleculares em compostos mais simples (*syngas*), com maior consumo de energia;
- Incidência da tocha de plasma sobre os gases de síntese procedentes do processo de gaseificação de resíduo, contribuindo para a produção de um gás mais limpo.

O gaseificador de plasma é um equipamento que gaseifica os materiais a elevada temperatura atingível por plasma. Ao invés de ser queimada, sob a tocha de plasma as moléculas orgânicas (cuja matriz é o carbono) volatilizam gerando um gás sintético - o *syngas*, que pode ser utilizado como combustível. Os compostos inorgânicos se tornam em forma de lava que vitrifica ao se resfriar ou se convertem em uma substância dura férrea, ambas inertes. Para cada 1 t/h de biomassa, pode-se esperar em alguns casos aproximadamente 700 kg/h de gás de síntese (UERJ, 2011).

⁸ECOMASSA ENERGIA. **Unidade de Plasma.** Disponível em: http://www.ecomassaenergiaalternativa.com.br/unidade_plasma.php Acesso em: 16 jul 2013.

A principal diferença da gaseificação por plasma de uma gaseificação não-plasma é a temperatura, pois com o plasma é possível atingir temperaturas acima de 3000°C e com os outros tipos de gaseificadores, cerca de 800 a 900°C. Adicionalmente, os gaseificadores não plasmáticos não podem eliminar o alcatrão⁹ durante a operação, tendo que ser queimado imediatamente para produção de energia, sem poder ser armazenado, pois é muito difícil remover alcatrões a jusante de um gaseificador. Já o gás de gaseificadores plasmáticos, pode ser acondicionado para utilização em turbinas a gás, motores de movimento alternado e conversão em combustíveis líquidos (SOUZA, 2014).

O processo de gaseificação de resíduo com a tecnologia de plasma pode ser usado para gerar energia elétrica, mas ao processar baixos volumes de resíduos, não se produz gás de síntese para combustível. Entretanto, a usina produz vapor e água quente, que podem ser usados como energia e geração de calor em um parque industrial, por exemplo (UERJ, 2011).

Existem diversas plantas de gaseificação por plasma em operação, dentre elas, uma diversidade de aplicações de instalações comerciais para tratamento de resíduos na UE, os EUA, e Ásia (Tabela 2). Várias grandes empresas fabricam tochas de plasma, como Westinghouse, Europlasma, Phoenix, e Tetronics.

Tabela 2 – Algumas unidades de plasma comerciais para tratamento de resíduos sólidos

Localização	População	Materiais	Capacidade (ton/dia)	Início
Europa				
Landskrona, Suécia	27.889	Cinzas volantes	200	1983
Morcenx, França	4.993	Amianto	22	2001
América do Norte				
Honolulu, Havaí	374.676	Resíduos médicos	1	2001
Richland, Weshington	46.155	Resíduos perigosos	4	2002
Ásia				
Kinura, Japão	40.806	Cinzas de RSU	50	1995
Mihama-Mikata, Japão	28.817	RSU / Lodo de esgoto	28	2002
Utashinai, Japão	5.221	RSU / ASR	300	2002
Cheongsong, Coréia	150.000	RSU	10	2008

Fonte: BYUN et al, 2012.

⁹ O alcatrão é uma complexa mistura de hidrocarbonetos, oxigenados ou não, composto por centenas de substâncias químicas, algumas das quais são consideradas carcinogênicas ou classificadas como resíduos tóxicos (BIZZO, 2010).

Especialmente, o Japão e a União Européia têm construídas muitas unidades de processamento de plasma, a maior das quais está localizada em Utashinai, Japão. Esta tem capacidade para o tratamento de 300 ton/dia de resíduos sólidos urbanos. Em 1999, a Hitachi Metals desenvolveu uma planta-piloto em Yoshii, Japão, que processava menos de 20 toneladas por dia de RSU. O sucesso da operacionalização da indústria impulsionou o desenvolvimento de mais duas outras no Japão, em Mihama-Mikata e Utashinai, e a desativação de Yoshii.

Entre as unidades listadas já em operação, há a usina de processamento de resíduos em Morcenx, no sul da França que está em fase de testes finais e expectativa de operação ainda em 2016 (EUROPLASMA, 2016). A CHO Power (Figura 8), como é chamada esta planta de gaseificação, é dimensionada para produzir 11 MW a partir de 55 000 t/ano de resíduos industriais e de biomassa, que equivale ao consumo de 45000 habitantes, conforme informações do site da empresa (EUROPLASMA, [2016?]).



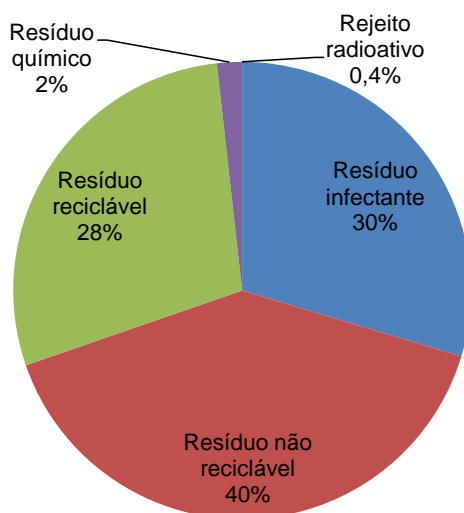
Figura 8 - CHO Power.
Fonte: Europlasma, [2016?].

A eficiência elétrica da CHO Power pode chegar a 35-40%, em comparação com 18-20% de um ciclo de combustão e turbina a vapor. Neste processo, o resíduo é transformado em gás que é filtrado por um filtro de mangas antes de ser injetado dentro do motor. Pela chaminé sai apenas o gás limpo. O método não gera dioxinas ou furanos, através da utilização de temperatura elevada (1200° C) e pela ausência de oxigênio. O resíduo é levado à unidade de tratamento por coletores e localidades vizinhas. Este é composto basicamente por papelão, madeira, papel e tecidos, e não contém resíduos perigosos. Os coletores fazem uma triagem nos resíduos, separando a fração reciclável e a fração residual que será

destinada ao tratamento, que são então reclassificados no local (EUROPLASMA, [2016?]).

As informações mais atualizadas sobre a CHO Power, em um Comunicado à Imprensa de 31 de agosto de 2016 (Europlasma, 2016), informam sobre a previsão de chegada de 2 motores adicionais o para uso na planta em 06 de setembro de 2016, mas não dá detalhes sobre os testes executados desde a implantação.

Gráfico 1 – Geração de resíduos do EAS estudado



Fonte: Informação verbal¹⁰.

Os resíduos gerados no EAS são destinados a tratamentos específicos, quando necessário, a aterros ou à reciclagem. A Tabela 3 apresenta resumidamente as destinações dos resíduos do EAS em estudo.

Tabela 3 - Destinação dos resíduos do EAS em estudo

Resíduos gerados por tipo e por método de disposição (em toneladas)				
Tipo de resíduo	2014	2015	Δ 2015/2014	Método de disposição
Infectante	1141,5	1150,0	0,7%	Desativação eletrotérmica
Não-reciclável	1537,6	1318,4	-14,3%	Aterro sanitário
Reciclável	1200,0	1017,2	-15,2%	Reciclagem
Químico	71,9	73,3	1,9%	Incineração
Radioativo	3,3	0,4	-87,9%	Desativação eletrotérmica após decaimento
Total	3.954,2	3.559,3	-10,0%	

Fonte: Informação verbal¹¹.

¹⁰; ¹¹Informação verbal fornecida pelo EAS em 2016.

Conforme a Tabela 3, os resíduos infectantes gerados no EAS são destinados à desativação eletrotérmica¹² em empresa terceirizada, conveniada à Prefeitura de São Paulo. Em um projeto para redução de riscos ambientais foram adquiridas 2 autoclaves para realizar o tratamento de 100% dos resíduos infectantes gerados no hospital, com o objetivo de reduzir o risco gerado pela etapa de destinação do resíduo, considerando a redução na destinação e transporte de resíduos perigosos. Entretanto, devido à especificidade do processo, é passível de licenciamento pela CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, e desta forma, o sistema de autoclavação está em processo de licenciamento.

De acordo com a RDC nº 306/04, o processo de autoclavação quando aplicado apenas para redução de carga microbiana de culturas e estoques de microrganismos não necessita ser submetido a licenciamento ambiental, estes são de responsabilidade dos serviços que as possuem, que devem garantir a eficácia dos equipamentos mediante controles químicos e biológicos.

No processo de autoclavação de RSS (vide Figura 11), os sacos contendo os resíduos contaminados são introduzidos em um sistema fechado. Estes resíduos são desinfetados em temperaturas entre 110°C e 150°C, por vapor superaquecido, por um período de aproximadamente uma hora (CAMPOS, 2007), tempo suficiente para que os agentes patogênicos possam ser destruídos ou ao menos reduzidos a um nível que não ofereça riscos. Ao final do processo, os resíduos que passaram pelo tratamento estão prontos para ser encaminhados para a destinação final, e se apresentam conforme Figura 10.



Figura 10 - Resíduos tratados.
Fonte: Fiesp, [2008].

¹² O tratamento pelo Processo de Desativação Eletrotérmica (ETD), consiste em triturar o material e depois aquecê-lo num método semelhante ao do forno de micro-ondas doméstico (Ecourbis Ambiental, 2016).

Independentemente do processo de autoclavação, houve no hospital em questão o interesse em implantar um processo de tratamento térmico dos resíduos, por plasma ou pirólise, e a partir de então passaram a ser estudados diversos equipamentos disponíveis no mercado. Com a implantação deste processo, a intenção é reduzir o volume de resíduos destinados, e desta forma reduzir os riscos, bem como os custos na etapa de destinação.

5.2. Estimativa de Viabilidade Financeira

Para a avaliação da viabilidade financeira de utilização do equipamento, foram utilizados dados de geração de resíduos do EAS, desconsiderando a fração de resíduos recicláveis, que podem ser reaproveitados.

Inicialmente, para base do presente estudo, foi considerado o estudo financeiro realizado por Souza (2014), no qual foi simulada a implantação de uma usina de gaseificação a plasma com geração de energia por ciclo combinado em Taubaté – SP. De acordo com Souza (2014), o custo para a implantação de uma Unidade de Tratamento de Resíduos com capacidade de tratamento 270 toneladas/dia é de aproximadamente R\$ 218 milhões. Entretanto, por não haver maiores detalhes sobre fontes e dados operacionais, este estudo não foi considerado.

Foram utilizados dados de avaliações econômicas detalhadas realizadas por Byun et al (2012), para uma usina de gaseificação a plasma para tratamento de resíduos sólidos urbanos localizada em Cheongsong, Coreia, com capacidade de 10 ton/dia. A unidade de gaseificação a plasma de Cheongsong foi construída pela empresa GS Platech no início de 2008, e a operação iniciou em setembro de 2008. O detalhamento sobre o processo encontra-se no Anexo B. Um esquema de design interior 3D da unidade é apresentado na Figura 11, o qual apresenta os principais componentes do processo.

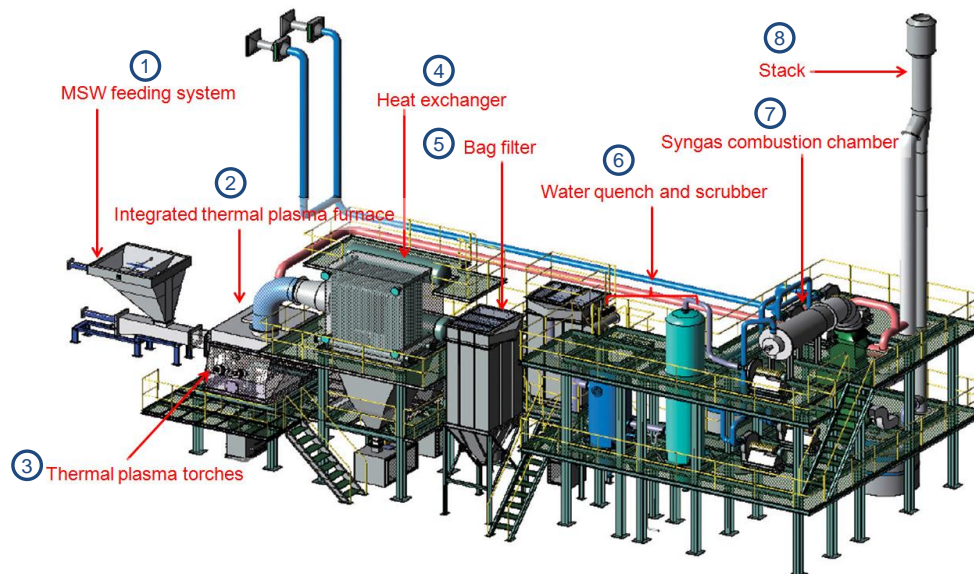


Figura 11 - Esquema Interior 3D da unidade de gaseificação de Cheongsong, Coreia.

Fonte: BYUN et al, 2012.

- 1 - Sistema de alimentação de resíduos
- 2 - Forno de plasma integrado
- 3 - Tochas de plasma
- 4 - Trocador de calor
- 5 - Filtro de mangas
- 6 - Resfriador e lavador de gases
- 7 - Câmara de combustão de “syngas”
- 8 - Flare (sistema de tocha)

O peso, em percentagem, do resíduo que se torna escória é 7,58%. A taxa de redução do volume de resíduos após o processamento é de até 99%, o que indica que o tratamento de resíduos utilizando plasma pode reduzir significativamente o volume destinado. A caracterização de amostras de escória do processo indicou que há presença de dióxido de silício (SiO_2), trióxido de alumínio (Al_2O_3), óxido de cálcio (CaO), óxido férrico (Fe_2O_3), óxido de sódio (Na_2O), óxido de magnésio (MgO) como os principais componentes e ausência de metais pesados, ou seja, não é considerada tóxica.

O *syngas* gerado no processo não é reutilizado para a recuperação de energia na usina de Cheongsong. Devido à baixa quantidade gerada, este é queimado na câmara de combustão secundária, pois não são suficientes para utilizar como fonte de energia. Como fator de comparação, Byun (2012) cita que em uma usina de 100 ton/dia poderiam ser gerados 5000 kW de energia elétrica, sendo que

2000 kW de eletricidade é necessária para gerar tochas de plasma e utilitários, que significa que 3000 kW de eletricidade poderia ser vendido à rede. Isto é equivalente a 23,8 milhões de kWh/ano, gerando um lucro total com a venda de cerca de 2,6 milhões de US\$/ano (considerando o preço de venda de energia elétrica em 10,9 cent/kWh) ou aproximadamente R\$ 8,3 milhões (cotação do dólar a R\$ 3,195).

A principal desvantagem dos processos de gaseificação a plasma referido por muitos cientistas e engenheiros é a utilização de eletricidade, que é uma fonte de energia cara. Dessa forma, a viabilidade dos processos de gaseificação a plasma pode variar conforme características regionais, tipos de resíduos sólidos a serem processados, capacidade, entre outros. Nos EUA, o custo de destinação a aterros é de cerca de 30-80 US\$/tonelada (R\$ 95-255) e o custo médio de incineração é de 69 US\$/tonelada (R\$ 220). No entanto, o custo médio de aterros e incineradores em pequenos países como o Japão e os países europeus é de cerca de 200-300 US\$/ton (R\$ 640-960), pois a terra é mais escassa, o que significa que a economia de gaseificação a plasma para RSU é melhorada nestas regiões (CYRANOSKI, 2006¹³ apud BYUN et al). Em comparação com o Brasil, o custo médio de aterro é de R\$ 110,00/ton e de incineração R\$ 5,00/kg.

De acordo com Byun, atualmente exceto a usina de Cheongsong, custos operacionais detalhados das empresas que realizam o processo não estão disponíveis, apenas valores conforme a Tabela 4 e Figura 12. Este fato se aplica também ao Brasil, aonde não há dados disponíveis.

Tabela 4 - Custos de construção

Empresa	Capacidade	Custo de construção
Dodge - (Estimativa de projeto)	750 TPD	150 milhões US\$/TPD
Hitachi Metals - Utashinai, Japão	300 TPD	0,17 milhões US\$/TPD
Geoplasma - St. Lucie, Canada	600 TPD	0,17 milhões US\$/TPD
Geoplasma - St. Lucie, Canada (projeto inicial)	2700 TPD	0,13 milhões US\$/TPD
GS Plotech - Cheongsong, Coreia	10 TPD	0,39 milhões US\$/TPD

Fonte: Byun et al, 2012.

*TPD: toneladas por dia.

¹³ CYRANOSKI, D. One man's trash. Nature 444: 262-263, 2006.

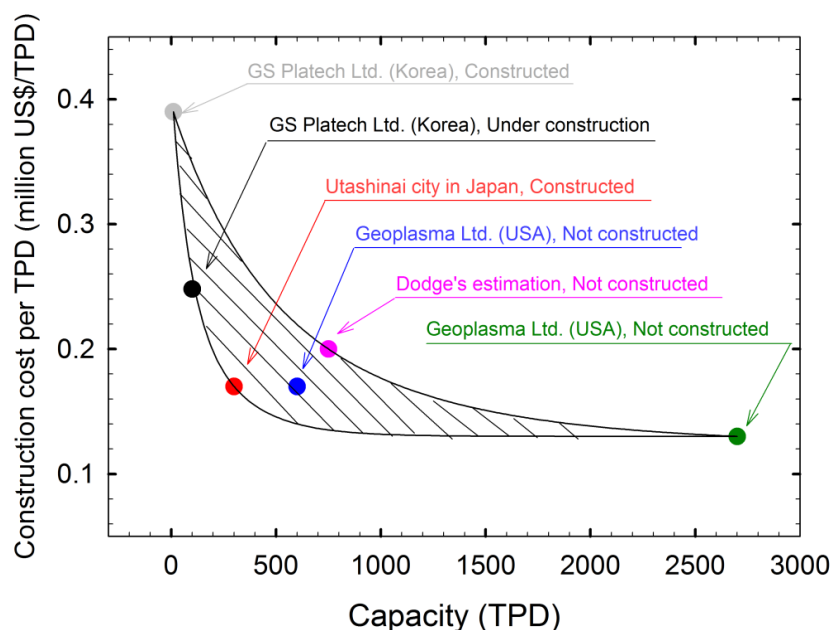


Figura 12 - Custo de construção (milhões de US\$) de estações de tratamento de plasma de acordo com a capacidade de tratamento (TPD).
Fonte: Byun et al, 2012.

A avaliação econômica detalhada para uma usina de 10 ton/dia, incluindo a construção e custos de operação, é apresentada nas Tabelas 5 e 6. O custo total de construção da usina de Cheongsong foi de US\$ 3,9 milhões.

Tabela 5 - Dados de funcionamento da usina

Dados da usina de Cheongsong - Capacidade de 10 ton/dia	
Consumo de energia	0,817 MWh/ton
Perda de calor a partir de gases efluentes	16%
Perda de calor através das paredes do sistema	14%
Recuperação de energia	Não utilizado
Poder calorífico do RSU	3.300 kcal / kg
Geração de potência	500kW
Consumo de potência - tocha de plasma	200kW
	300kW
Energia excedente	2,38 milhões de kWh/ano
Produção de syngas	20 m ³ /h

Fonte: Byun et al, 2012.

Tabela 6 - Avaliação econômica de uma unidade de gaseificação a plasma de 10 ton/dia para o tratamento de resíduos sólidos urbanos

Itens			Custo
CUSTO DE OPERAÇÃO POR ANO	Construção		3,9 milhões US\$
	Trabalhadores (Rh)	12 pessoas	0,49 milhões US\$/ano
	Depreciação	Período de 15 anos	0,26 milhões US\$/ano
	Custos variáveis	Manutenção	0,24 milhões US\$/ano
		Eletricidade	
		Produtos químicos	
		Água	
		Etc	
	Seguro	0,5% do custo de construção	0,02 milhões US\$/ano
	Total		0,99 milhões US\$/ano

Fonte: Byun et al, 2012.

Dados com base no funcionamento por 3,5 anos da usina de Cheongsong.

Estudos indicam que processos de gaseificação por plasma são mais econômicos se a capacidade de tratamento é aumentada, por causa das três seguintes razões. Em primeiro lugar, o custo de construção é reduzido conforme a capacidade é aumentada, como mencionado acima. Isso vai causar uma diminuição no custo de depreciação. Em segundo lugar, o *syngas* pode gerar lucro como fonte de energia. Por último, a operação de uma planta é uma economia de escala. Com os aumentos de capacidade, os custos do trabalho, e etc irão diminuir.

5.3. Licenciamento Ambiental

O licenciamento ambiental é estabelecido pelo CONAMA nº 237/97, o qual considera a utilização do sistema de licenciamento como instrumento de gestão ambiental, visando o desenvolvimento sustentável e a melhoria contínua.

O licenciamento ambiental é um procedimento administrativo pelo qual a localização, instalação, operação e ampliação de empreendimentos e atividades consideradas efetivas ou potencialmente poluidoras, ou possam causar degradação ambiental possuem seus projetos avaliados até que haja a aprovação e liberação por meio da expedição da Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação nesta ordem.

No Estado de São Paulo, a Deliberação Normativa Consema nº 01/2014 estabelece as diretrizes para o licenciamento ambiental municipal de empreendimentos ou atividades de potencial impacto local. De acordo com esta, “compete ao Município o licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades executados no âmbito do seu território que causem ou possam causar impacto ambiental local, conforme tipologia definida no anexo I desta deliberação”. A lista citada possui 160 atividades, industriais ou não, passíveis de licenciamento, que são classificadas de acordo com o CNAE. Caso o Município não disponha da estrutura necessária, cabe à CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo conduzir o processo de licenciamento ambiental.

As atividades passíveis de licenciamento ambiental pela CETESB encontram-se elencadas na Lei nº 997/76 - Dispõe sobre o Controle da Poluição do Meio Ambiente, aprovado pelo Decreto nº 8.468/76 - Aprova o Regulamento da Lei n.º 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente e alterado pelo Decreto nº 47.397/02 - Dá nova redação ao Título V e ao Anexo 5 e acrescenta os Anexos 9 e 10, ao Regulamento da Lei n.º 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto n.º 8.468, de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.

No caso de hospitais, bem como atividades desenvolvidas por estes que são passíveis de licenciamento, como incineradores de RSS, transbordos de RSS e outros sistemas de tratamento de RSS, há roteiros específicos para obtenção

das Licenças. Os roteiros específicos para cada uma destas atividades indicam a documentação a ser apresentada, dentre as quais, o Memorial de Caracterização do Empreendimento – MCE, no qual devem ser preenchidas informações detalhadas sobre a atividade. No caso do licenciamento de gaseificadores, como não há licenciamento e legislação específicos, é seguido o processo para licenciamento de incineradores.

Para o licenciamento de incineradores de RSS, o Roteiro de Estudo que deve ser seguido foi elaborado com base no disposto na Resolução CONAMA nº 316/02, que “dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos”, e na Norma Técnica CETESB E15.011, Sistema para incineração de resíduos de serviços de saúde: procedimento.

6. RESULTADOS

No estudo realizado por Byun (2012) para a unidade de gaseificação a plasma de Cheongsong, Coreia, o tratamento de 10 ton/dia de RSU não gera *syngas* o suficiente para viabilidade de geração de energia elétrica. Portanto, para o tratamento de 7 ton/dia de resíduos do EAS, a geração de *syngas* possivelmente também será baixa. Entretanto, para a confirmação dessa afirmação seria necessária a realização de um laudo de caracterização dos resíduos do EAS para verificação do poder calorífico, além de testes de eficiência no equipamento quando instalado no EAS.

Devido à baixa geração de *syngas* na unidade de gaseificação, para o EAS seria mais vantajosa a utilização da energia para geração de água quente, devido ao alto consumo em processos internos, que demandam queima de gás natural para aquecimento da água.

Dessa forma, a viabilidade financeira de implantação de uma unidade de gaseificação a plasma no EAS estudado se daria em relação à redução do volume de destinação de resíduos à empresas externas. Atualmente, o custo anual de destinação dos resíduos é de R\$ 923.317,00 (informação verbal)¹⁴. A Tabela 7 apresenta resumidamente os custos associados à implantação da UTR por gaseificação a plasma, bem como o tempo de retorno do investimento, considerando a taxa de atratividade adotada pelo EAS em 14%.

Tabela 7 – Dados de implantação da UTR por gaseificação a plasma no EAS estudado

CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DA UTR		
Custo de construção (dólar a R\$ 3,195)	R\$	12.460.500,00
Custo anual de operação	R\$	3.163.050,00
Total de resíduo recebido na UTR		7 ton/dia
Tempo de retorno do investimento		na

Fonte: Cálculos realizados a partir do estudo de Byun (2012) e informação verbal recebida do EAS.

¹⁴Informação verbal fornecida pelo EAS em 2016.

Em relação ao tempo de retorno de investimento, considerando o custo de investimento e custos mensais operacionais, frente ao *saving* de redução de custos na destinação de resíduos, não há viabilidade na instalação de um equipamento como o comercializado pela GS Platech, da Coréia, devido ao alto custo. A Tabela 8 apresenta o cálculo de viabilidade financeira de implantação da UTR.

Tabela 8 – Cálculo de viabilidade financeira

Viabilidade Financeira			
Ano	Fluxo de caixa (R\$)	Valor Presente (R\$)	FC CX acum. (R\$)
0	-12.460.500	-	-
1	923.317	809.927	-11.650.573
2	923.317	710.462	-10.940.110
3	923.317	623.213	-10.316.898
4	923.317	546.678	-9.770.220
5	923.317	479.542	-9.290.678
6	923.317	420.651	-8.870.027
7	923.317	368.992	-8.501.035
8	923.317	323.677	-8.177.358
9	923.317	283.927	-7.893.431
10	923.317	249.059	-7.644.372
109	923.317	1	-5.865.383
110	923.317	1	-5.865.382
111	923.317	0	-5.865.382
112	923.317	0	-5.865.381
113	923.317	0	-5.865.381

TMA	Invest. Inicial
14%	R\$ 12.460.500,00

Fonte: cálculos próprios.

Conforme a Tabela 8, considerando como fluxo de caixa apenas o *saving* com a destinação de resíduos e desconsiderando os custos operacionais da

UTR, quando o fluxo de caixa é trazido ao valor presente, em 110 anos o valor presente se iguala a zero e ainda há aproximadamente R\$ 6 milhões de investimento inicial a se recuperar. Ao realizar o cálculo de *payback* simples, o tempo de retorno de investimento é de 14 anos (desconsiderando os custos operacionais da UTR).

Estes cálculos reforçam a afirmação de Byun (2012), de que conforme a escala de tratamento aumenta, a unidade de gaseificação se torna mais viável. Principalmente devido ao aumento de volume de *syngas* gerado, que pode ser utilizado em outros processos da empresa ou vendido para a rede, gerando lucros.

Avaliando duas propostas recebidas pelo EAS em 2014, para implantação de equipamentos de gaseificação a plasma, verifica que há grande disparidade entre os valores de aquisição. O nome das empresas não foi divulgado devido à confidencialidade das propostas. A Tabela 9 apresenta a comparação financeira entre as três tecnologias.

Tabela 9 - Comparação financeira entre as tecnologias

Custos das tecnologias			
Nome		Custo	Capacidade
GS Platech - Coreia ¹	R\$	12.460.500,00	11 ton/dia
Empresa 1	R\$	22.500.000,00	11 ton/dia
Empresa 2	R\$	4.200.000,00	10 ton/dia

Fonte: cálculos próprios.

¹Considera o custo de construção, não só o de venda, como as outras duas tecnologias.

Verifica-se que a tecnologia comercializada pela Empresa 1, proveniente dos Estados Unidos, possui um custo 81% superior à tecnologia da GS Platech. Em relação à Empresa 2, de tecnologia 100% brasileira, apresenta um custo 66% inferior à tecnologia da GS Platech. O custo das Empresas 1 e 2 considerado para o cálculo, não consideram os custos de construção, apenas de venda do sistema.

7. CONCLUSÃO

Ao avaliar a viabilidade de implantação do tratamento térmico de resíduos de serviços de saúde por gaseificação a plasma no EAS estudado, conclui-se que não há benefícios econômicos. Isto ocorre devido ao grande investimento necessário para iniciar o projeto, considerando os custos de construção, e o retorno financeiro é baixo. O tempo de retorno do investimento (TIR) é alto, e trazendo o valor do dinheiro para o tempo presente, à uma taxa de desconto de 14% utilizada pelo EAS para cálculos de viabilidade em Propostas de Dispendio de Capital, o equipamento não se paga. Em 110 anos fluxo de caixa trazido ao valor presente se iguala a zero e ainda há aproximadamente R\$ 6 milhões de investimento a se recuperar. O cálculo do TIR levou em conta, como fluxo de caixa após a implantação, o retorno financeiro com a redução na destinação de 7 ton/dia de resíduos. Entretanto, devido ao baixo volume em comparação a outras plantas de gaseificação a plasma e o baixo aproveitamento da capacidade do equipamento, o projeto não se tornou viável. Quanto ao gás de síntese gerado ao final do processo, o qual o volume poderá ser estimado após implantação da unidade de gaseificação, poderá ser utilizado em conjunto com o Gás natural, já utilizado pelo hospital, para aquecimento de água ou geração de vapor reduzindo assim o volume de Gás natural adquirido, e consequentemente reduzindo custos.

Por ser uma tecnologia relativamente recente com poucas unidades em funcionamento, não há muitos estudos e referências bibliográficas sobre implantação de unidades de gaseificação a plasma, principalmente relacionado à gaseificação de resíduos de serviços de saúde, tema do qual não foram encontradas referências. Dessa forma, devido à ausência de informações consistentes e diversificadas, complexidade do processo e casos de insucesso, não há confiabilidade de que a tecnologia seja ambientalmente correta. Um grande exemplo é a empresa Europlasma, que tem uma longa experiência na França com tochas de plasma, mas nenhuma com resíduos sólidos urbanos. A sua primeira fábrica na França é mantida em segredo e já está distante dos prazos anunciados na unidade da Europlasma.

Adicionalmente, como sem a implantação do equipamento no EAS ou realização de testes a longo prazo, não há dados reais de monitoramento na saída de gases e não se sabe a composição destes. Dessa forma, após a implantação, pode ser necessária a instalação de equipamentos de controle de poluição adicionais, o que pode aumentar os custos de implantação.

Considerando que para que haja o investimento financeiro em tecnologias novas são necessárias boas referências e inspiração em cases de sucesso, conclui-se que a aquisição de uma tecnologia nova e ainda não totalmente comprovada é remota. Acredita-se que nos próximos anos a gaseificação por plasma evolua, pois as plantas em construção devem estar em operação em poucos anos e os problemas operacionais devem ser resolvidos para tornar esta tecnologia mais confiável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS¹⁵

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10004:2004. Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. Caderno Informativo: Recuperação Energética – Resíduos Sólidos Urbanos. Abrelpe e Plastivida, 2012.

BARTOLOMEU, D. B. et al. Logística ambiental de resíduos sólidos. In: BARTOLOMEU, D. B.; BRANCO, J. E. H.; CAIXETA-FILHO, J. V. Caracterização da Logística de Resíduos de Serviços de Saúde (RSS). São Paulo: Editora Atlas, 2011. p. 44-66.

BIZZO, Waldir Antonio; "Purificação do produto de gaseificação de biomassa", "Tecnologia da gaseificação de biomassa", 11/2010, ed. 1, Editora Átomo, Vol. 1, pp. 30, pp.393-422, 2010.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. Manual de gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

_____. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. Resolução RDC nº 306, de 07 de dezembro de 2004. Brasília, 2004.

_____. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. Resolução RDC nº 33, de 25 de fevereiro de 2003. Brasília, 2003.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 05/93. Brasília, 1993.

_____. Decreto 49.974-A de 21 de janeiro de 1961. Rio de Janeiro, 1961.

_____. Lei nº 2.312 de 1954. Rio de Janeiro, 1954.

_____. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Brasília, 2010.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 09/91. Brasília, 1991.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 237/97. Brasília, 1997.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 358/2005. Brasília, 2005.

_____. Portaria MINTER, nº 53 de 01 de março de 1979. Brasília, 1979.

¹⁵ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023.

_____. Projeto Reforço à Reorganização do Sistema Único de Saúde (REFORSUS). Gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Ministério da Saúde, Secretaria Executiva. Brasília, 2001.

BYUN, Youngchul; CHO, Moohyun; HWANG, Soon-Mo; CHUNG, Jaewoo. Thermal Plasma Gasification of Municipal Solid Waste (MSW). In: YONGSEUNG YUN (Org.). Gasification for Practical Applications. [Austria]: InTech, 2012.

CAMPOS, Angela Diniz. Técnicas para produção de extrato pirolenhoso para uso agrícola. Circular Técnica, Pelotas, n. 65, dez. 2007.

ENGEBIO ENGENHARIA S/S LTDA. Estado da arte do tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica. 2. ed. Porto Alegre: ENGBIO, 2010.

ERBR. Gaseificação de resíduos sólidos (agrícolas, urbanos e industriais). Paraná, [201-]. Disponível em: <<http://www.erbr.com.br/syngas/tecnologia.php>>. Acesso em 24/out/2016.

ESSENCIS SP. Soluções Inovadoras em Multitecnologia em Gestão Ambiental. São Paulo, 2010. Disponível em <<http://www.essencis.com.br/unidades/Essencis-sp>>. Acesso em: 18 abr. 2013.

EUROPLASMA. Centrale Cho Morcenx. França, [2016?]. Disponível em: <<http://www.cho-power.com/>>. Acesso em 02/10/2016.

EUROPLASMA. Communiqué de presse. Disponível em: <http://www.europlasma.com/images/stories/actualites/communiques-presse/2016/cp_ep_activite_v21072016.pdf>. Acesso em: 28 jul 2016.

FIESP. A gestão de resíduos no ambiente hospitalar - Legislações e Tecnologias. Federação das indústrias do estado de São Paulo, [2008].

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos: Guia de Orientações para Governos Municipais de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.

FUSHIMI, C., WADA, T., & TSUTSUMI, A. (2010). Inhibition of steam gasification of biomass char by hydrogen and tar. Biomass and Bionergy, vol. xxx, pp. 1 - 7.

GALINDO, N. A. L. (2012), Análise dos Efeitos das Condições Operacionais de um Gaseificador Co-corrente de Duplo Estágio na Qualidade do Gás, Itajubá, 111p. Dissertação (Exploração do Uso Racional de Recursos Naturais e Energia - UERNE) Engenharia de Energia - Universidade Federal de Itajubá.

GÜNTHER, W. M. R. Gerenciamento de Serviço de Saúde: a caracterização como instrumento básico para abordagem do problema. 1993.162p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.

HENRIQUES, Rachel Martins. Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica. Rio de Janeiro: UFRJ, 2004, 204 p. Originalmente apresentada como tese de mestrado em Ciências em Planejamento Energético, Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL - IBAM. Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2001.

IMBELLONI. R. Gaseificação a plasma aumenta esperanças de gerar energia a partir do lixo. 2012. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/curiosidades/curiosidades2.php?id=3869>>. Acesso em 01/08/2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL - IBAM. Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2001.

JANGSAWANG, W., GUPTA, A. K., KITAGAWA, K., & LEE, S. C. (2007). High Temperature Steam and Air Gasification of Non-woody Biomass Wastes. Asian Journal on Energy and Environment, vol. 08, pp. 601-609.

JUNIOR, Rudinei T; Saiani, Carlos C. Santejo; Dourado, Juscelino. Resíduos Sólidos Urbanos: Oportunidades e Desafios da Lei Federal Nº 12.305 (Lei de Resíduos Sólidos). Editora: Manole. 456 p. 2013.

KUMAR, S. Technology options for municipal solid waste-to-energy project. TIMES (TERI Information Monitor on Environmental Science) Volume 5 (Number 1): 1-11.

LV, P., YUAN, Z., MA, L., WU, C., CHEN, Y., & ZHU, J. (2007). Hydrogen-rich gas production from biomass air and oxygen/steam gasification in a downdraft gasifier. Renewable Energy, vol. 32, pp. 2173–2185.

MCKENDRY, P. (2002). Energy production from biomass (part 3): gasification technologies. Bioresource Technology, vol. 83, pp. 55–63.

MIRANDA, L. H. T. G. Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: estudo de caso no município de Itanhaém-SP. Monografia de especialização – Curso de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética do Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2014.

OLIVEIRA, M. V. C.; CARVALHO, A. R. Princípios básicos de saneamento do meio. São Paulo: Senac, 2003.

PFÍTSCHER, E. D. et al. A situação dos hospitais quanto ao gerenciamento dos aspectos e impactos ambientais. Caderno EBAPE.BR vol.5 no.3. Rio de Janeiro, 2007.

RIBEIRO FILHO, V. O. Gestão ambiental na indústria da saúde no Brasil: A gestão da cadeia produtiva em favor da sustentabilidade ambiental. 2005.162 p.

Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) – Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo.

SAFE S., 1996, “Human Toxicology of Chlorinated Organic Micropollutants”, In: Hester, R. E., Harrinson R. M. (eds), Chlorinated Organic Micropollutants, 2 ed., chapter 1, Cambridge, Great Britain, The Royal Society of Chemistry.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 8468 de 08 de setembro de 1976. São Paulo, 1976.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 47.397 de 4 de dezembro de 2002. São Paulo, 2002.

SÃO PAULO (Estado). Deliberação Normativa Consema nº 01/2014. São Paulo, 2014.

SÃO PAULO (Município). Lei nº 13478 de 30 de dezembro de 2002. São Paulo, 2002.

SECRETARIA MUNICIPAL DO PLANEJAMENTO URBANO. Mapa das Subprefeituras na Cidade de São Paulo. São Paulo, 2002. Disponível em <http://www.mapa-brasil.com/Mapa_Subprefeituras_Cidade_Sao_Paulo_Brasil.htm>. Acesso em 25/10/2016.

SOUZA, M.F. Tratamento de resíduos sólidos urbanos com recuperação energética por meio da tecnologia de plasma – Estudo de caso para a região de Taubaté – SP. Monografia de especialização – Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, 2014.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - UERJ. Tecnologia de Plasma. Laboratório de Análise de Resíduos. Rio de Janeiro, 2011.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. Safe management of wastes from health-care activities. Geneva: WHO, 1999.

ANEXO A - Classificação dos resíduos sólidos, de acordo com a Lei 12.305/10

– PNRS

I - quanto à origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

II - quanto à periculosidade:

- a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
- b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”.

ANEXO B – detalhamento sobre o processo da unidade de gaseificação a plasma de Cheongsong, Coreia

Neste capítulo são apresentadas, de forma resumida, as performances e especificações da unidade de gaseificação por plasma em Cheongsong, Coreia. O estudo citado a seguir foi realizado por Byun et al (2012).

O forno integrado, equipado com dois maçaricos de plasma não-transferidos, é o aparelho central onde a gaseificação ocorre. A pressão de operação do forno integrado é mantida a -10 mmHg pressão manométrica. O forno integrado é composto pelo forno, duas tochas de plasma não-transferidos, um queimador de pré-aquecimento que utiliza o gás liquefeito de petróleo (GPL), um sistema de alimentação de resíduos sólidos urbanos, uma saída para a escória fundida e uma porta de injeção de ar quente.

O papel do queimador de pré-aquecimento é pré-aquecer o forno integrado até 600 °C durante 12h iniciais. As temperaturas no interior do forno integrado e a câmara de combustão do gás de síntese são mantidas a 1400 e 880 °C, respectivamente. Inicialmente, o RSU é parcialmente oxidado pela injeção de ar quente (600 °C, a 700 Nm³/h), que é retirado do pré-aquecedor de ar /arrefecedor de gás, e depois fundido pelos maçaricos de plasma. Esta oxidação parcial do RSU pode reduzir a energia elétrica utilizada para as tochas de plasma.

A escória fundida é despejada em um tanque de água a partir de um orifício localizado na parte inferior do forno. Esta escória fundida é arrefecida bruscamente com água para produzir escória granulada, que é removida usando a correia transportadora de escória. Duas tochas de plasma não-transferido são instaladas dentro da fornalha integrada a um ângulo de 30° para induzir uma força centrífuga no forno. A potência de cada maçarico de plasma é de 200 kW, com uma tensão operacional e corrente de 571 ± 30 V e 293 ± 10 A, respectivamente. A eficiência dos maçaricos de plasma é de cerca de 70% e o tempo de vida do eletrodo é de cerca de 500 horas.

Ar (500 L/min, a 490 kPa) é fornecido para os maçaricos de plasma utilizando um compressor. O gás produzido no forno integrado (1400 °C) entra no gerador de vapor, onde a temperatura é arrefecida até 180 °C. O vapor é gerado a

1,2 ton/h, e em seguida, injetado no condensador de vapor e recirculado para o gerador de vapor.

Os sistemas de depuração de gases eliminam gases ácidos antes do gás entrar na câmara de combustão de gás síntese. Por esse motivo o resfriador e lavador de gases são instalados em série. O resfriador de água e purificador estão localizados na saída do trocador de calor. O papel do resfriador de gases é arrefecer o gás até 30 °C com uma solução de NaOH (40%). Embora os gases ácidos restantes sejam também parcialmente removidos pelo resfriador de gases, quase todos os gases ácidos são removidos no lavador. A solução de lavagem é controlada a pH 9,0 e recirculada.

A câmara de combustão de *syngas* é instalada para queimar o hidrogênio e monóxido de carbono emitido. Ar retirado do armazenamento de RSU é adicionado à câmara para queimar completamente o hidrogênio e monóxido de carbono com um queimador de GLP (gás liquefeito de petróleo), que utiliza 4,76 Nm³/tonelada de GLP. A temperatura câmara de combustão de *syngas* é mantida perto de 900 °C. A finalidade do pré-aquecedor de ar e resfriador de gás é aumentar a temperatura do ar tomado a partir do armazenamento de RSU a 600 °C, e diminuir a temperatura do gás emitido a partir da câmara de combustão de *syngas* a 200 °C. O ar aquecido é injetado no forno integrado para oxidar parcialmente o RSU (700 Nm³/h).

Subprodutos líquidos, gasosos e sólidos são gerados na unidade de gaseificação a plasma. Subprodutos sólidos são originários da fornalha integrada como escória (75,8 kg/tonelada; 7,8% para a entrada de MSW), os subprodutos líquidos são do sistema de tratamento de águas residuais (0,43 Nm³/tonelada), e os subprodutos gasosos são da gaseificação de resíduos sólidos urbanos e combustão de gás de síntese. O líquido descarregado proveniente do resfriador de gases e lavador de gases, o qual foi usado para diminuir a temperatura do gás e remover o gás ácido, foi de 0,43 Nm³/tonelada. Estas águas residuais foram tratadas através do sistema de tratamento de águas residuais e recicladas para o resfriador e lavador de gases.

O ponto mais importante na operação de um processo de plasma é a natureza e o montante das emissões atmosféricas finais. As concentrações de poluentes atmosféricos foram medidos em dois pontos: um na saída do forno

integrado, e o outro no flare. Também foi medida a concentração de emissão gasosa em dois portos, o gás de síntese de forma contínua na saída do forno integrado e poluentes atmosféricos periodicamente no flare. As taxas de fluxo na saída do forno integrado e flare foram 1.161 e 2.654 Nm³/h, respectivamente. A taxa de fluxo mais elevada para o flare foi devido à câmara de combustão de gás de síntese que utilizava ar e GPL.

As concentrações de oxigênio na saída do forno integrado e lavador de gases foram de 0,4 ± 0,2 e 1,1 ± 0,4%, respectivamente. A pequena concentração de oxigênio no forno integrado indica que o interior estava em condições de privação de oxigênio. As concentrações médias mensuradas pela saída do forno integrado eram de 10,4% para 14,2% de hidrogênio e de monóxido de carbono, com 10% de dióxido de carbono (CO₂); gases adicionais são principalmente N₂. A flutuação das concentrações foi causada pela variação da composição dos resíduos e teor de água.

A câmara de combustão de *syngas* foi utilizada para a combustão de hidrogênio e de monóxido de carbono na escala de 10 ton/dia sem a reutilização do gás de síntese. Vale a pena ressaltar que nenhum óxido de nitrogênio (NO_x) e óxido de enxofre (SO_x) foram detectados à saída do forno integrado devido às condições de privação de oxigênio no interior do forno integrado. As concentrações de dioxinas foram de 1,04 ng-TEQ/Nm³ na saída da fornalha integrada e 0,05 ng-TEQ/Nm³ no flare, que foram muito mais baixas do que as instalações de incineração convencionais. Este resultado sugere que quantidades insignificantes de PCDD (Dibenzodioxinas policloradas)/PCDF (dibenzofuranos policlorados), também conhecidos abreviadamente como dioxinas e furanos¹⁶, foram produzidos na unidade de gaseificação a plasma devido à alta temperatura do forno integrado. As concentrações de óxidos de nitrogênio (NO_x) e óxidos de enxofre (SO_x) foram 10 e 4 ppm, respectivamente, o qual é aumentado um pouco no flare devido à combustão do gás de síntese câmara. As concentrações de monóxido de carbono, ácido clorídrico (HCl) e poeira são 5 ppm, 1,92 ppm, e 4,15 mg/Sm³, respectivamente, o que satisfaz as exigências da legislação vigente. Estes

¹⁶São um grupo de substâncias organocloradas de estrutura e propriedades similares que englobam um total de 210 compostos, alguns deles muito tóxicos. Conforme Safe (1996), diversos estudos têm examinado outros possíveis efeitos à saúde humana, além do câncer, associados à exposição às dioxinas e furanos e estes estudos incluem alteração das funções tireóide, gastrointestinais, problemas reprodutivos, neurológicos, imunológicos, pulmonares e cardiovasculares.

resultados indicaram que a gaseificação a plasma para o tratamento de resíduos sólidos urbanos é um processo ambientalmente amigável.



Figura 13 - Imagem exterior da unidade de gaseificação a plasma localizada em Cheongsong, Coreia.
Fonte: Byun et al, 2012.

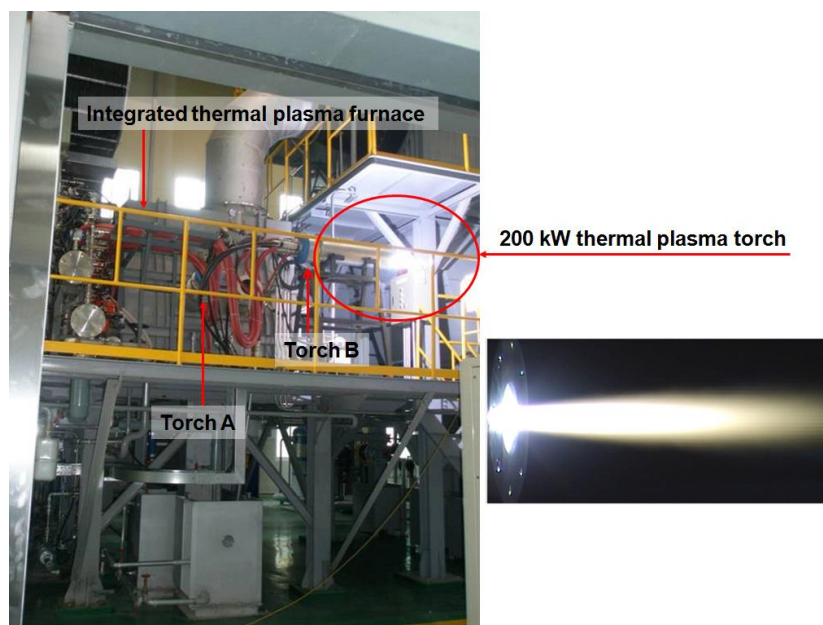


Figura 14 – Imagem (esquerda) do plasma gerado usando maçarico de plasma de 200 kW ao lado do forno integrado. Imagem detalhada do plasma gerado (à direita).
Fonte: Byun et al, 2012.

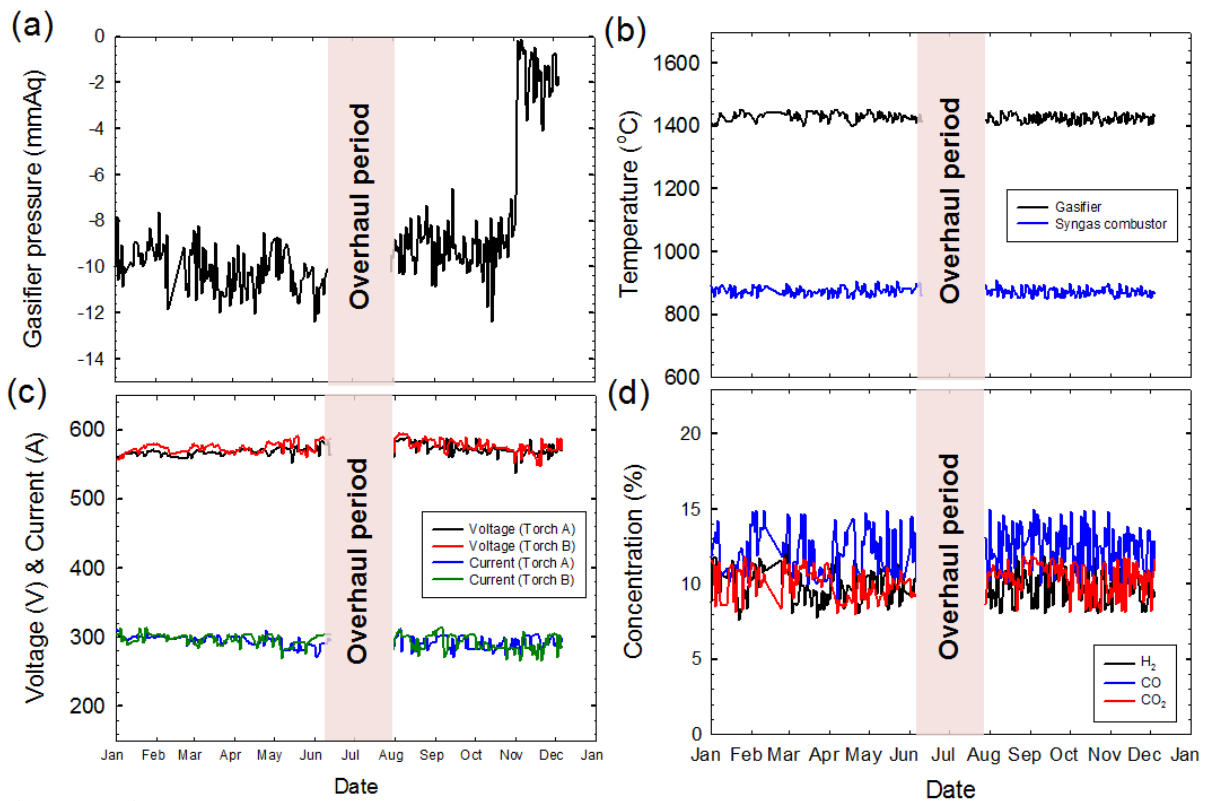


Figura 15 - Características medidas de unidade de gaseificação de plasma por 1 ano.

Fonte: Byun et al, 2012.

(A) Pressão no interior do forno de plasma integrado e câmara de combustão de gás de síntese. (B) Temperatura no interior do forno de plasma integrado. (C) Tensão aplicada e corrente em duas tochas de plasma. (D) Concentração de H₂, CO e CO₂ no forno de plasma integrado.

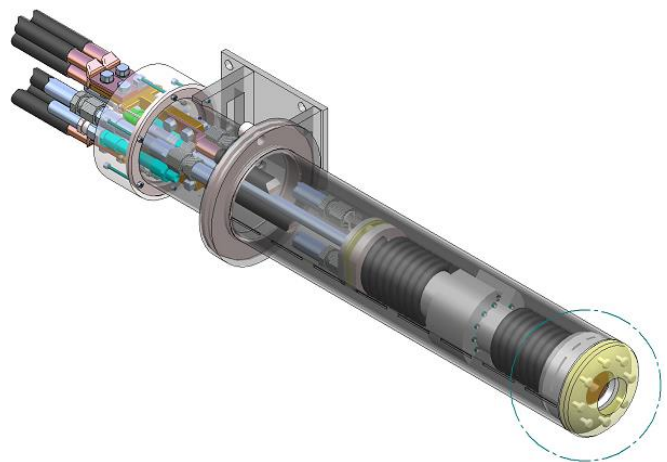


Figura 16 - Imagens de tochas de plasma fabricadas pela GS Platech (à esquerda) e vista interior de maçarico de plasma (direita) instalado no forno integrado.

Fonte: Byun et al, 2012.