

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL E
NEGÓCIOS NO SETOR ENERGÉTICO

MAYRA FERRARI DE SOUZA

TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COM RECUPERAÇÃO
ENERGÉTICA POR MEIO DA TECNOLOGIA DE PLASMA – ESTUDO DE CASO
PARA A REGIÃO DE TAUBATÉ - SP

SÃO PAULO

2014

MAYRA FERRARI DE SOUZA

**TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COM RECUPERAÇÃO
ENERGÉTICA POR MEIO DA TECNOLOGIA DE PLASMA – ESTUDO DE CASO
PARA A REGIÃO DE TAUBATÉ - SP**

Monografia para conclusão do Curso de
Especialização em Gestão Ambiental e Negócios
no Setor Energético do Instituto de Energia e
Ambiente da Universidade de São Paulo.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Cristiane Lima Cortez

São Paulo

2014



CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL E NEGÓCIOS NO SETOR ENERGÉTICO

ATA DE DEFESA – MONOGRAFIA

CANDIDATO: Mayra Ferrari de Souza

Aos vinte e nove dias do mês de janeiro de 2014, às 18:00h realizou-se no Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo a defesa de monografia da aluna Mayra Ferrari de Souza, nível especialização, intitulado: **“Tratamento de resíduos sólidos urbanos com recuperação energética por meio da tecnologia de plasma – estudo de caso para a região de Taubaté - SP”**, sendo a banca constituída pelas Professoras: Cristiane Lima Cortez – Orientadora e Presidente da Comissão Examinadora e Suani Teixeira Coelho (IEE/USP).

Manifestação dos membros da banca:	Assinatura	Conceito
Profa. Dra. Cristiane Lima Cortez		9,5
Profa. Dra. Suani Teixeira Coelho		9,5

A candidata foi considerada (Aprovada / Reprovada)

(*Aprovada*)

Dedicatória

Dedico mais esta conquista à minha família, que sempre me apoiou e aos meus amigos.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, minhas irmãs e minha avó por acreditarem em mim e sempre me apoiarem.

À Professora Cristiane, pela dedicação e orientação para desenvolvermos um bom trabalho.

À Beatriz, pela paciência e dedicação.

RESUMO

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. 2013.

O crescente aumento de geração de resíduos sólidos urbanos vem preocupando os órgãos públicos responsáveis pelo tratamento e destinação, principalmente depois de sancionada a Lei nº 12.305 sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos em 2 de agosto de 2010, regulamentada pelo Decreto nº. 7.404/2010. No Brasil, 29% dos municípios ainda utilizam lixões para depositar seus resíduos sólidos urbanos. Os aterros controlados são utilizados por 32% das cidades, e 39% dos municípios descartam tais resíduos em aterros sanitários. Nesse contexto, várias tecnologias estão sendo estudadas, entre elas, a de Plasma com geração de energia. O presente trabalho tem como objetivo apresentar o estudo da viabilidade econômica e ambiental da implantação de uma usina de tratamento de resíduo à Plasma com geração de energia para Taubaté (SP) e região como alternativa para o tratamento de resíduos sólidos urbanos com a recuperação de seu teor energético. Para estimativa da viabilidade econômica, adotou-se um sistema de tratamento no qual o resíduo é termicamente decomposto em gás combustível e a geração de energia ocorre por ciclo combinado. Foi possível verificar que este processo é vantajoso quando se tem como um dos principais objetivos a geração de energia renovável e descentralizada a partir de RSU.

Palavras-chave: Resíduo Sólido Urbano. Tecnologia de Plasma. Recuperação Energética.

ABSTRACT

SOUZA, M. F.;. **Treatment of municipal solid waste with energy recovery by means of plasma technology - Case study for the region of Taubaté - SP.** Specialization monograph – Environmental Management and Energy Sector Business of the Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo. 2013.

The increasing generation of municipal solid waste (MSW) has perturbed the public agencies responsible for MSW treatment and disposal, especially after the Law No. 12,305 about the Brazilian National Policy for Solid Waste had been enacted on August 2th, 2010, and regulated by Decree nº. 7,404/2010. In Brazil, 28 % of the municipalities still use dumps to deposit their MSW. Controlled landfills are used by 31 % of the cities and 39 % of them dispose such waste in landfills. In this context, several technologies are being studied, among them, the Plasma generating energy. This monograph aims to present the economic and environmental feasibility study of installing a residue treatment plant that uses Plasma generating energy for Taubaté (SP) and the region as an alternative for the treatment of municipal solid waste with the recovery the energy content. For calculation of viability, it was adopted a treatment system in which the waste is thermally decomposed into fuel gas and the power generation is by combined cycle. It was shown to be advantageous when it has as a main objective the generation of renewable and decentralized energy from MSW.

Keywords: Urban Solid Waste. Plasma Technology. Energy Recovery.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tocha de Plasma	12
Figura 2- Material vitrificado	15
Figura 3- Fluxograma esquemático de gaseificação.....	16
Figura 4 Fluxograma esquemático do ciclo combinado	17
Figura 5- Localização do Vale do Paraíba.....	22
Figura 6- Localização dos municípios do estudo	24
Figura 7- Fluxograma de sistema de ciclo combinado	25
Figura 8 Tabela de estimativa da viabilidade da UTR do presente estudo.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Quantidade de Municípios por tipo de destinação adotada – 2012	8
Tabela 2 - Índice gravimétrico de RSU	8
Tabela 3- Unidades de Usina de Plasma no mundo referentes a um fabricante.....	14
Tabela 4- Especificação do gás após limpeza.....	18
Tabela 5 - Limites de Emissão para Poluentes a serem Monitorados Continuamente, valores expressos em mg/Nm ³ , base seca, corrigidos a 11% de O ₂	21
Tabela 6- Dados estatísticos dos municípios	23

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	4
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
2.1.	Classificação de Resíduos.....	6
2.1.1.	Quanto à origem:	6
2.1.2.	Quanto à Periculosidade:	7
2.2.	Panorama Nacional de RSU	7
2.3.	Legislação específica	8
2.3.1.	Política Nacional de Resíduos Sólidos	9
2.3.2.	Lei Nacional de Saneamento Básico	10
2.3.3.	Lei de apoio a geração de energia com biomassa.....	11
2.4.	Recuperação Energética de RSU	11
2.5.	Plasma.....	12
2.6.	Gaseificação a Plasma	14
2.7.	Processo de Tratamento de Resíduo com Plasma.....	15
2.8.	Vantagens e Desvantagens do tratamento com Plasma.....	17
2.8.1.	Vantagem Ambiental	17
2.8.2.	Vantagem Social do Projeto	18
2.8.3.	Desvantagem.....	19
2.9.	Sistemas de controle de poluição do ar (SCPA).....	19
2.10.	Padrão para emissões atmosféricas.....	20
3.	ESTUDO DE CASO	22
3.1.	Caracterização dos municípios da região de Taubaté.....	22
3.2.	Estimativa da viabilidade.....	24
4.	RESULTADOS	26
5.	CONCLUSÃO.....	28
6.	REFERÊNCIAS	30

1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento de geração de resíduos sólidos urbanos vem preocupando os órgãos públicos responsáveis pelo tratamento e destinação, principalmente depois de sancionada a Lei nº 12.305 de Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em 02 de agosto de 2010, regulamentada pelo decreto nº. 7.404/2010.

Essa Política estabelece diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

No Brasil, 1.579 municípios (28% do total) ainda utilizam lixões para depositar seus resíduos sólidos. Os aterros controlados são utilizados por 1.773 cidades (31%), e 2.213 municípios descartam tais resíduos em aterros sanitários, segundo dados da Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (ABRELPE, 2012).

A PNRS estabelece que até 2014 os municípios terão que dar um tratamento adequado ao resíduo sólido urbano (RSU), sendo descartado no aterro apenas o rejeito. Com isso as prefeituras estão estudando tecnologias capazes de atender às suas necessidades e à legislação.

A recuperação energética é uma realidade e alternativa concreta para destinação de resíduos. A tecnologia transforma o RSU em energia elétrica e térmica por um processo amplamente utilizado no mundo, transformando o alto poder calorífico contido nos resíduos sólidos em combustível. Dentre as várias tecnologias existentes, o tratamento com plasma vem se destacando por ser uma tecnologia que reduz o resíduo em até 98%, trata vários tipos de resíduos, possui um grande potencial para geração de energia com baixa geração de gases efluentes.

A região de Taubaté é carente de opções para tratamento de lixo. Possui apenas dois aterros particulares que já estão próximos de atingir a capacidade máxima. Taubaté, Caçapava, Pindamonhangaba, Tremembé, Aparecida, Guaratinguetá, Potim, São Luís do Paraitinga, Campos do Jordão e Santo Antonio do Pinhal estão destinando os seus RSU para aterros particulares em Tremembé e Cachoeira Paulista.

Este trabalho visa estudar as viabilidades econômica e ambiental da implantação de uma Unidade de Tratamento Térmico de resíduo urbano por meio da tecnologia de Plasma para adequar os municípios conforme exigência do PNRS.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Classificação de Resíduos

A classificação dos resíduos é determinada pela lei nº 12.035, de 02 de agosto de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que dispõe sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos. Para os efeitos desta Lei, os resíduos têm a seguinte classificação:

2.1.1. 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 (RSU): 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 (RI): os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) Resíduos de serviço de saúde (RSS): os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) Resíduos de construção civil (RCC): 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;

2.1.2. 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".

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) classifica os resíduos como Perigosos (classe I), não perigosos (classe II), inertes (classe IIA) e não inertes (classe IIB), conforme estabelecido na NBR 10.004:2004 (ABNT, 2004).

2.2. Panorama Nacional de RSU

De acordo com o relatório publicado pela Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) em 2012, a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) cresceu cerca de 1,3% de 2011 para 2012, passando de 61,9 milhões para 62,7 milhões t/ano superando a taxa de crescimento populacional do mesmo período que foi de 0,9% (ABRELPE, 2012).

O mesmo relatório informa que há 1.579 municípios destinando os seus resíduos para lixões. Para aterro sanitário, são 2.213. Ainda é um número muito elevado de lixões em atividade, considerando que precisam ser extintos até agosto de 2014, conforme a PNRS. A Tabela 1 apresenta os números da pesquisa da ABRELPE.

Tabela 1- Quantidade de Municípios por tipo de destinação adotada – 2012

Destinação Final	2012 – Regiões e Brasil					
	Norte	Nordeste	Centro-oeste	Sudeste	Sul	BRASIL
Aterro Sanitário	90	450	157	814	702	2.213
Aterro Controlado	110	505	149	643	366	1.773
Lixão	249	839	160	211	120	1.579
BRASIL	449	1.794	466	1.668	1.188	5.565

Fonte: ABRELPE, 2012

O RSU brasileiro possui o seguinte índice gravimétrico (Tabela 2):

Tabela 2 - Índice gravimétrico de RSU

Material	Participação (%)
Metais	2,9
Papel, Papelão e Longa Vida	13,1
Plástico	13,5
Vidro	2,4
Matéria Orgânica	51,4
Outros	16,7
TOTAL	100,0

Fonte: ABRELPE, 2011

2.3. Legislação específica

Na área de saneamento básico com interface a processos de aproveitamento energético de RSU, os principais regulamentos são:

- Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, Lei nº 12.305, de 02/08/2010) e seu decreto regulamentador (nº. 7.404/2010)
- Lei Nacional de Saneamento Básico (LNSB, Lei nº. 11.445, de 05/01/2007) e seu decreto regulamentador (nº. 7.217/2010).

2.3.1. Política Nacional de Resíduos Sólidos

No âmbito da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, Lei nº 12.305, de 02/08/2010) e seu decreto regulamentador (nº. 7.404/2010), alguns pontos a serem observados em projetos de aproveitamento energético da fração orgânica de RSU merecem ser destacados como o objetivo da redução de rejeitos, e a disposição final adequada dos resíduos (Art. 7, art. 9, art. 36). No âmbito dos RSU a PNRS também:

- Destaca o planejamento do setor, por meio de planos municipais de gestão integrada a serem elaborados até agosto de 2012, além do plano nacional de gestão de resíduos sólidos, dos planos estaduais, e dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos para geradores específicos.
- Destaca a erradicação dos lixões, por meio da obrigatoriedade de implementar aterros sanitários para os rejeitos até agosto 2014 (Art. 54). De acordo com a ABRELPE, em 2012 42% (23,7 milhões de toneladas) do total de RSU ainda tem destinação inadequada para lixões e aterros controlados(ABRELPE,2012).
- Valoriza em vários trechos a inclusão social, por meio da organização formal de catadores, a sua integração na gestão de resíduos, e a coleta seletiva de resíduos sólidos domésticos (Art. 18, art. 36);
- Valoriza a regionalização da gestão de resíduos, por meio da priorização de financiamentos para consórcios intermunicipais (Art. 16);
- Introduce a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a logística reversa para alguns grupos de resíduos (Art. 30).

Especificamente em relação ao aproveitamento energético pode ser citado o seguinte trecho da PNRS e do seu decreto regulamentador:

- Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental (Art 9, § 1).

No Decreto 7.404/2010 foram estabelecidas as diretrizes aplicáveis à gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, que são:

- A utilização de resíduos sólidos nos processos de recuperação energética, incluindo o co-processamento, obedecerá às normas estabelecidas pelos órgãos competentes (Art. 36).

2.3.2. Lei Nacional de Saneamento Básico

Conforme a Lei Nacional de Saneamento Básico (LNSB, Lei No. 11.445, de 05/01/2007) e seu decreto regulamentador (no. 7.217/2010), o saneamento básico é o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

A limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos são entendidos como o “conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas”, sendo que neste contexto se inserem processos de aproveitamento energético de RSU.

Esta temática pode ser relacionada ao Art. 48 da LNSB: “a União, no estabelecimento de sua política de saneamento básico, observará as seguintes diretrizes: (IX) fomentar o desenvolvimento científico e tecnológico, a adoção de tecnologias apropriadas e a difusão dos conhecimentos gerados de interesse para o saneamento básico; e (X) minimizar os impactos ambientais relacionados à implantação e desenvolvimento das ações, obras e serviços de saneamento básico e assegurar que sejam executadas de acordo com as normas relativas à proteção do meio ambiente, ao uso e ocupação do solo e à saúde.”

Conforme o Ministério das Cidades, o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB – Portaria nº 634 de 22/10/2010 e 418, de 31/01/2011) constitui o eixo central da política federal para o saneamento básico, promovendo a articulação nacional dos entes da federação para a implementação das diretrizes da Lei 11.445/07. É um instrumento fundamental à retomada da capacidade orientadora do Estado na condução da política pública de saneamento básico e, conseqüentemente, da definição das metas e estratégias de governo para o setor no

horizonte dos próximos vinte anos, com vistas à universalização do acesso aos serviços de saneamento básico como um direito social.

2.3.3. Lei de apoio a geração de energia com biomassa

A Lei nº 10.762 de 11 de novembro de 2003 estabelece o benefício de redução de mais de 50% nas tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição de energia gerada através de biomassa para empreendimentos com potência igual ou inferior a 30.000 kW (Art. 8º, § 1º).

2.4. Recuperação Energética de RSU

A recuperação energética é uma das alternativas de destinação de RSU adequadas ambientalmente. É admitida pelos órgãos do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA) e evitam danos ou riscos à saúde pública e à segurança e minimizam os impactos ambientais adversos. É uma alternativa complementar à recuperação do material e a reciclagem, pois para um sistema de gestão de resíduo ser eficiente, é necessário manter o processo de recuperação e reciclagem para juntos atingirem o objetivo de reduzir a quantidade de rejeitos dispostos em aterros sanitários.

A PNRS estabelece que as tecnologias poderão ser implantadas visando à recuperação energética dos RSU comprovadas as viabilidades técnica e ambiental. A legislação é neutra em relação à tecnologia para não restringir a busca por aperfeiçoamento e inovações, resultando em melhores padrões de qualidade ambiental dos processos.

As tecnologias existentes no mercado apresentam vários métodos de aproveitamento energético quer pela transformação do RSU em combustíveis sólidos, gasosos e líquidos ou pela geração de energia térmica, elétrica ou cogeração. Tais processos podem ser térmicos como combustão, incineração, pirólise, gaseificação, plasma ou biológicos como a digestão anaeróbia dos resíduos dispostos em aterros, o chamado gás de aterro ou da fração orgânica dos RSU tratada em biodigestores controlados (conhecidos como biometanizadores). Informações e detalhes sobre estas tecnologias podem ser vistos em ENGEBIO (2010), FEAM (2012), CORTEZ (2011). No próximo item, será apresentada a tecnologia de plasma, tema deste trabalho.

A energia obtida é um subproduto que poupa outras fontes e contribui para a redução dos gastos com a destinação do RSU. A recuperação energética é uma atividade de destinação de resíduo e não de geração de energia, conforme critérios estabelecidos na PNRS.

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, 2013).

2.5. Plasma

O plasma, conhecido como “o quarto estado da matéria”, é um gás ionizado, com boa condutividade elétrica e alta viscosidade, gerado pela dissociação das moléculas de qualquer gás devido à perda de parte dos elétrons quando a temperatura de aquecimento atinge 3.000°C. O jato de plasma é gerado e controlado em um dispositivo denominado “tocha de plasma”, no qual ocorre a formação de um arco elétrico, através da passagem de corrente entre o cátodo e ânodo, provocando a ionização do gás injetado pelo seu aquecimento a temperaturas extremamente elevadas, variando de 5.000 °C a 50.000 °C de acordo com as condições de geração, mas tipicamente da ordem de 15.000 °C (ENGEBIO, 2010b).

A Figura 1 apresenta a tocha de plasma.

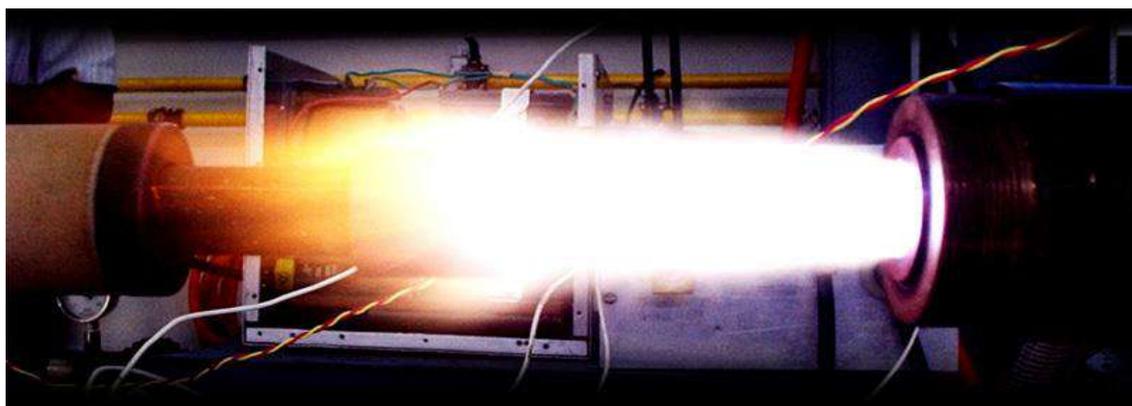


Figura 1- Tocha de Plasma

Fonte: Ecomassa, 2013

A energia elétrica é gerada pela tocha de plasma que possui um dispositivo que transforma energia elétrica em calor transportado por um gás. As tochas são classificadas em arco não transferido e arco transferido.

O arco não transferido é quando a produção ocorre no interior do dispositivo de geração que contem eletrodos e do qual sai o gás aquecido, podendo ser corrente contínua ou alternada. As tochas de arco transferido utilizam corrente contínua, onde um eletrodo emissor se localiza na parte externa da tocha, podendo ser outro eletrodo ou o material sob aquecimento interligado ao circuito através de um eletrodo.

A eficiência de transformação da tocha de plasma é da ordem de 85% a 90% da energia elétrica utilizada.

Já existem plantas em operação. Na Tabela 3, são listadas sete unidades em operação e duas em construção, todas de um único fabricante.

A maior unidade é a que está sendo concluída na Inglaterra. Ela tratará 1000 t/dia de resíduo urbano mais resíduo industrial. A geração de energia será através da ilha de ciclo combinado, que é a combinação de uma turbina a gás, um gerador de vapor de recuperação de calor e uma turbina de vapor. A emissão de gás deste ciclo será semelhante a de um ciclo combinado simples, e já foi aprovado pelo órgão ambiental do governo do Reino Unido (WESTINGHOUSE, 2013).

Tabela 3- Unidades de Usina de Plasma no mundo referentes a um fabricante.

Unidade	Localização	Início	Capacidade (t/ dia)	Matéria-prima	Objetivo
Alter NRG	EUA (Pensilvânia)	1984	48	+ de 100 tipos (demo unit)	Geração de gás
Hitachi Metals	Japão (Utashinai)	2002	250	RSU+ RSI	Geração de EE
Hitachi Metals	Japão (Mihama-Mikata)	2003	24	RSU + lodo de esgoto	Geração de Vapor
SMS Infrastructure	Índia (Pune)	2008	72	Resíduos perigosos	Tratamento final/ vitrificação
SMS Infrastructure	Índia (Nagpur)	2010	72	Resíduos perigosos	Tratamento final/ vitrificação
Coskata	EUA (Pensilvânia)	2009	-	Biomassa 40.000 galões/ ano	Produção de etanol

Fonte: Westinghouse, 2013

O tratamento a plasma não restringe nenhum tipo de resíduo. E como o resíduo orgânico é muito úmido, o que diminui seu poder calorífico, é adicionado resíduo industrial; aumentando assim, a quantidade de energia gerada e conseqüentemente, a receita adicional da usina.

2.6. Gaseificação a Plasma

O gaseificador converte uma ampla variedade de tipos de resíduos em um gás de síntese que pode ser limpo e alterado para criar outras formas de energia.

Gaseificador de Plasma é um recipiente alimentado por várias matérias-primas que são gaseificadas a elevada temperatura atingível por plasma. Em vez de ser queimada, a matéria-prima é quebrada pelo calor e transformada em hidrogênio, monóxido de carbono, água e outros compostos simples. O gás produzido é chamado de gás de síntese ou “syngas”.

O “syngas” contém partículas de poeira e outros elementos indesejáveis como mercúrio, enxofre e metais pesados, por isso é passado por um processo de limpeza para se tornar adequado para a conversão em outras formas de energia, como eletricidade, vapor e combustível.

A principal diferença da gaseificação a plasma de uma gaseificação não-plasma é a temperatura. Com o plasma é possível atingir 3000°C e com os outros tipos de gaseificadores, cerca de 800 a 900°C e não pode eliminar o alcatrão durante a operação. Como é muito difícil remover alcatrões a jusante de um gaseificador, a utilidade do gás de síntese produzido pelos gaseificadores não plasmáticos é limitada, tendo que ser queimado imediatamente para produção de energia, sem poder ser armazenado. Já o gás de gaseificadores plasmáticos, pode ser acondicionado para utilização em turbinas a gás, motores de movimento alternado e conversão em combustíveis líquidos.

Para cada tonelada por hora de biomassa, podem ser produzidos cerca de 700 kg/h de gás de síntese (UERJ, 2011).

2.7. Processo de Tratamento de Resíduo com Plasma

O processo de tratamento de resíduo ocorre numa fornalha vertical (“sharft”) onde é termicamente decomposto em gás combustível.

A alimentação do resíduo sólido na fornalha ocorre por meio de um sistema de câmaras estanques (“lock hopper”). A injeção de ar pré-aquecido enriquecido ou não de oxigênio, serve para alimentar a combustão de parte do material.

A queima do resíduo é acompanhada da vitrificação (Figura 2) do material inorgânico no fundo da fornalha.



Figura 2- Material vitrificado

Fonte: CCI – Plasma Pirólise, 2013

Os gases e os sólidos fluem contracorrentes através da fornalha. A escória fundida escoo pela base enquanto o gás, inclusive hidrocarbonetos e outras substâncias orgânicas parcialmente decompostas, sai pelo topo da fornalha.

Este gás é misturado com ar aquecido a plasma no reator de decomposição, onde é completamente destruída a matéria orgânica remanescente, produzindo um gás combustível.

A Figura 3 apresenta o esquema de gaseificação:



Figura 3- Fluxograma esquemático de gaseificação

Fonte: Westinghouse, 2013

O plasma pode tratar vários tipos de resíduos, como: cinzas tóxicas (cinza leve e cinza pesada), pneus, solo contaminado, borra de tinta, papel contaminado, borra de óleo, lixo urbano, lixo hospitalar, gases tóxicos, lixo tóxico industrial e lixo radioativo.

A geração da energia acontece através do ciclo combinado (conforme ilustrado na figura 4), que utiliza duas turbinas, uma a gás e outra a vapor. A conversão é feita a partir da oxidação parcial do RSU dentro do reator que ao entrar em contato com a tocha de plasma (em altíssima temperatura) produz um gás combustível, chamado de gás de síntese. Esse gás pode ser queimado em motores de combustão interna ou turbina a gás para geração de energia mecânica e elétrica. Também pode gerar calor, ser matéria-prima de combustíveis líquidos através de processos de síntese química catalítica (CENBIO, 2013).

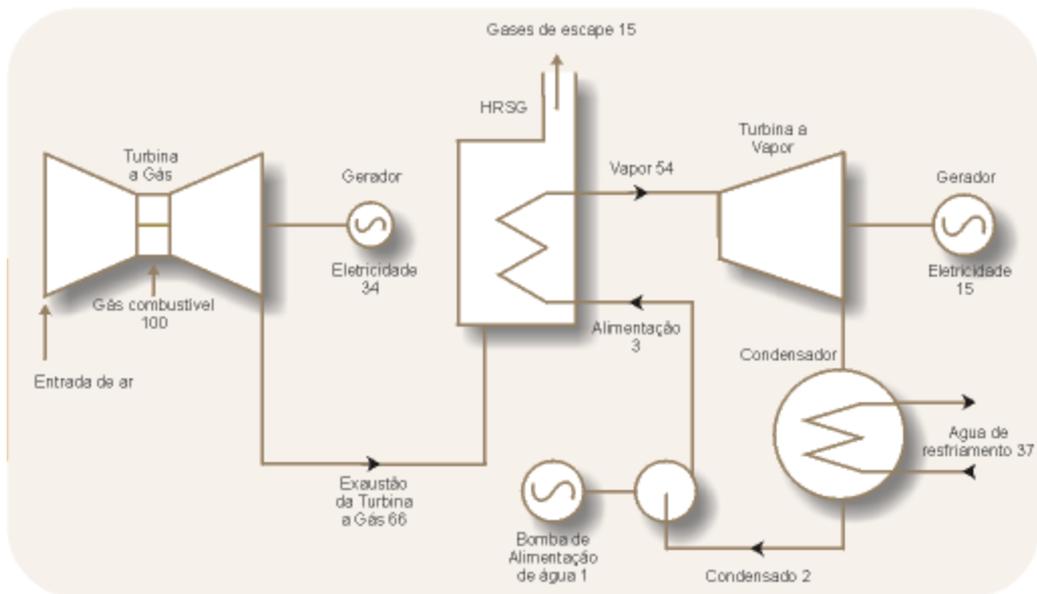


Figura 4 Fluxograma esquemático do ciclo combinado

Fonte: Engenharia e Arquitetura, 2013.

2.8. Vantagens e Desvantagens do tratamento com Plasma

2.8.1. Vantagem Ambiental

As principais vantagens do uso de plasma na decomposição térmica de substâncias são as elevadas temperaturas que causam rápida e completa pirólise da substância orgânica, permitindo fundir e vitrificar grande variedade de tipos de resíduos; que são similares a um mineral de alta dureza, o qual pode ser aplicado na construção civil, por exemplo. O processo permite reduções de volume extremamente elevadas, podendo ser superiores a 99%. Os contaminantes da combustão como odor, fumaça, cinzas residuais, cinzas voláteis, dioxinas e furanos são tratados evitando a emissão na atmosfera, conforme explicado no item 2.10.

O gás produzido é muito rico em monóxido de carbono e hidrogênio podendo ser utilizado como combustível para geração de energia elétrica que irá atender o sistema de tratamento de resíduo, desprezando assim, a necessidade de aplicação de combustível externo.

A geração de energia será contínua, parando apenas para manutenção, pois o RSU é gerado o ano todo, então sempre terá matéria prima para produção, e de forma crescente porque

a geração de RSU aumenta com o desenvolvimento econômico. O que não ocorre com algumas fontes alternativas de energia, como por exemplo, a eólica e a solar.

A geração de energia solar e eólica é inconstante por causa das variações temporais em várias ordens de grandeza: variações anuais (em função de alterações climáticas), variações sazonais (em função das diferentes estações do ano), variações diárias (causadas pelo micro clima local), variações horárias (brisa terrestre e marítima, por exemplo) e variações de curta duração (rajadas). A variação espacial da energia eólica também é muito grande. A topografia e a rugosidade do solo também têm grande influência na distribuição de frequência de ocorrência dos ventos e de sua velocidade em um local (CENTRO DE ENERGIA EÓLICA, 2013).

Em um ciclo combinado, o gás produzido passa por um sistema de limpeza que de acordo com Westinghouse 2013, alcança os parâmetros mostrados na Tabela 4, que atendem aos padrões estabelecidos na Resolução SMA-079 de 04/11/2009.

Tabela 4- Especificação do gás após limpeza

Substância	Quantidade (ppm)
Enxofre	< 200
Metais Alcalinos	< 1
Metais Voláteis	< 1
Halogênios	< 1
Partículas	< 20

Fonte: Westinghouse Plasma Corp, 2013

2.8.2. Vantagem Social do Projeto

A grande e principal vantagem social do projeto é o incentivo à cooperativas de reciclagem. As cooperativas de catadores no Brasil vêm se expandindo, podendo se tornar um negócio de futuro, sendo encontradas nas grandes e pequenas cidades do interior, e sua importância enquanto movimento social é cada vez mais reconhecida. As cooperativas, via de regra, são pautadas com base na economia social solidária, em que os meios de produção e também a renda gerada pelo processo são distribuídos entre os catadores. O principal objetivo das cooperativas fundadas neste molde são gerar trabalho, renda e melhores condições de vida

a uma parcela da população excluída, seguidos pelas questões ambientais e de preservação do meio ambiente (CULTURAMIX, 2013).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos reforça o viés social da reciclagem com a participação dos catadores, organizados em cooperativas ou associações.

A parceria com essa força de trabalho de baixa renda, que pode ser contratada pelos municípios sem licitação pública, passa a ser critério de prioridade para acesso a recursos da União. Atualmente as cooperativas processam uma pequena parte do total de materiais encaminhados para reciclagem no Brasil. Com as diretrizes da legislação, a tendência é esse quadro inverter (CEMPRE, 2013).

As cooperativas possibilitam diversos benefícios, como a valorização e a profissionalização do trabalho do catador, a inclusão social e o resgate da cidadania, bem como a retirada dos catadores dos lixões e aterros.

O rejeito do processo de plasma poderá ser aplicado na produção de asfalto ou depositado em aterro sanitário. Se aplicado em aterro, não produzirá biogás (o gás de aterro rico em metano), nem chorume, pois o rejeito é inerte, já passou por tratamento. Além da quantidade ser pequena (até 10% do volume total de RSU recebido para tratamento) aumentando a vida útil do aterro.

2.8.3. Desvantagem

O uso de plasma na decomposição térmica de substâncias é uma técnica dedicada, exigindo um grande investimento, o que muitas vezes pode tornar o projeto inviável.

É necessário um sofisticado sistema de lavagem de gases para retenção dos metais voláteis e dos gases ácidos.

2.9. Sistemas de controle de poluição do ar (SCPA)

O sistema de controle da poluição do ar deve contemplar o conjunto de equipamentos, a tecnologia empregada, os procedimentos de operação, a manutenção e o monitoramento para que as emissões atmosféricas de uma unidade de combustão de resíduos sólidos atendam aos

níveis estabelecidos pelas normas pertinentes e aceitáveis do ponto de vista ambiental (GRIPP, 1998).

O processo de limpeza do “syngas” remove as substâncias químicas indesejadas, evitando danos à saúde humana, ao meio ambiente e aos equipamentos da instalação. O processo de limpeza é baseado na matéria-prima utilizada e na aplicação do gás de síntese (eletricidade ou produção de combustíveis líquidos). Com base nessas informações da instalação da usina de gaseificação a plasma e produtos finais, as equipes de engenharia e construção irão projetar o sistema de limpeza com configurações específicas para o “syngas” ideal.

Um exemplo de gás de síntese de limpeza utilizado num processo de produção de energia: após a saída do reator de gaseificação, o gás de síntese é esfriado rapidamente e as partículas são removidas através da mistura com a água do processo em um lavador e da torre de pulverização. A temperatura do gás de síntese é reduzida e a pressão é aumentada para condensar a umidade a partir de gás de síntese. A água do processo é removida e tratada no local para ser reutilizada na instalação. O mercúrio é removido do gás de síntese através de leitos de carvão ativado com enxofre por uma reação de hidrólise e conversão de cristais.

Seguindo este processo, o gás de síntese é utilizado para gerar energia.

2.10. Padrão para emissões atmosféricas

No Brasil, os padrões de emissões atmosféricas são determinados pela Resolução CONAMA nº 382 de 26 de dezembro de 2006.

O estado de São Paulo possui a Resolução SMA nº 79 de 04 de novembro de 2009 que estabelece diretrizes e condições para a operação e o licenciamento da atividade de tratamento térmico de resíduos sólidos em usinas de recuperação de energia (URE).

De acordo com a Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, os limites de emissão de Poluentes a serem monitorados continuamente estão na Tabela 5:

Tabela 5 - Limites de Emissão para Poluentes a serem Monitorados Continuamente, valores expressos em mg/Nm³, base seca, corrigidos a 11% de O₂.

Parâmetro	Limite de emissão		
	Valor médio diário	Valores médios de 30min.	
		97% do tempo	100% do tempo
Material Particulado (MP)	10	10	30
Óxido de Enxofre (SO _x) expresso em (SO ₂)	50	50	200
Óxido de Nitrogênio (NO _x) expresso em NO ₂	200	200	400
Ácido Clorídrico (HCl)	10	10	60
Ácida Fluorídrico (HF)	1	2	4
Hidrocarbonetos Totais – HCT (expresso como metano e não metano)	10	10	20
Dioxinas e Furanos	0,1		

Fonte: Resolução SMA 79 de 2009.

questão de logística. As cidades são de distância máxima de 50 km de Taubaté, onde inicialmente seria implantada a Usina. As estradas de acesso são de boa qualidade e liberadas para transporte de resíduo. Também, foi considerada a falta de alternativas em outros município devido a questão geológica da região, isto é, sem terreno adequado para implantação e não viabilidade econômica para os municípios em implantarem individualmente usinas para tratamento de resíduos urbanos (Tabela 6).

Tabela 6- Dados estatísticos dos municípios

Município	Área (km²)¹	Distância até Taubaté (km)	Habitantes¹	PIB¹ per capita (R\$)	Quantidade de RSU gerado (t/dia)²
Aparecida	121	40	35.007	12.357	14
Caçapava	369	20	84.844	23.936	30
Campos do Jordão	290	50	47.789	12794	19
Guaratinguetá	752	49	112.072	20.564	54
Pindamonhangaba	730	20	147.034	28.316	72
Potim	45	45	19.397	7.607	6
São Luís do Paraitinga	617	43	10.397	8.601	3
Santo Antônio do Pinhal	133	40	6.486	9.043	2
Taubaté	626	0	278.724	25.423	167
Tremembé	191	12	40.984	7.705	15

Fonte: ¹ IBGE, 2010 ² CETESB, 2012

Na Figura 6 pode-se visualizar a localização das cidades atendidas no estudo.

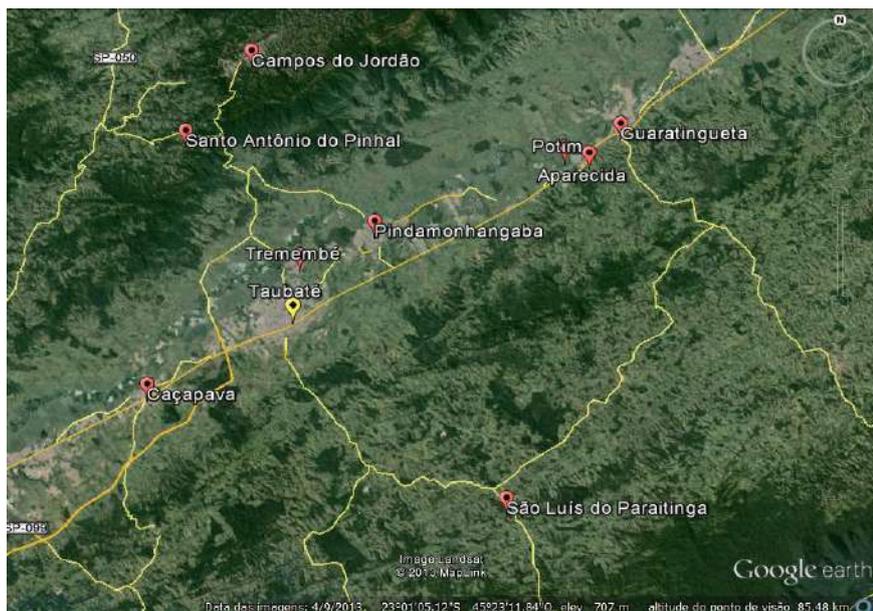


Figura 6- Localização dos municípios do estudo

Fonte: Google Earth, 2013

3.2. Estimativa da viabilidade

Para a estimativa da viabilidade adotou-se a implantação da usina em Taubaté para melhor logística das cidades atendidas. O total de geração de RSU gerado pelas cidades adotadas é de 382 t/dia. Desconsiderou-se a porcentagem de resíduos recicláveis, que serão enviados para reciclagem.

O processo adotado é o de ciclo combinado, conforme descrito no item 2.7 e mostrado na Figura 7.



Figura 7- Fluxograma de sistema de ciclo combinado

Fonte: Westinghouse Plasma Corp, 2013

4. RESULTADOS

A Figura 8 apresenta os resultados obtidos nos cálculos de estudo da implantação da Unidade de Tratamento de Resíduo (UTR).

CUSTO DA IMPLANTAÇÃO DA UNIDADE DE TRATAMENTO DE RESÍDUO		
ITEM	DESCRIÇÃO	VALOR TOTAL (R\$)
1	Gaseificador	210.000.000,00
2	Infraestrutura (terreno, construção civil)	3.000.000,00
3	Sub-estação, rede de transmissão de energia	4.000.000,00
4	Licenciamento ambiental	1.050.000,00
TOTAL DE IMPLANTAÇÃO		218.050.000,00
Custo de Manutenção da UTR		10.370.000,00 R\$/ ano
População das cidades atendidas		834.000 habitantes
Total de resíduo recebido na UTR		382,00 t/ dia
Resíduo reciclável (30%)		114,60 t/ dia
Resíduo tratado (70%)		267,40 t/ dia
Receita acessória		23.288.563 R\$ / ano
Custo de construção da UTR		570.812 R\$/ t
Tempo de retorno do investimento (\leq)		17 anos

Figura 8- Planilha de estimativa da viabilidade da UTR do presente estudo

Fonte: Elaboração Própria

Para estimativa do custo e capacidade de tratamento de RSU e geração de energia, foram utilizadas informações de um fabricante existente no mercado.

Conforme descrito na Tabela 2 do item 2.2 deste trabalho, a parcela de resíduos orgânicos e de outros não recicláveis corresponde a 70% do total de resíduos, e serão destinados para gaseificação a plasma. O restante, 30%, são recicláveis (metais, papel, papelão,

embalagens longa vida, plástico e vidros) e serão enviados às cooperativas de catadores para a correta triagem e segregação, para posterior reciclagem.

Ao aplicar os dados de tratamento de resíduo, encontra-se a capacidade de geração de energia da UTR (Unidade de Tratamento de Resíduo) de 9,76 MWh, totalizando 7.027 MWh/mês. A potência instalada é 10,25 MW e fator de capacidade de 92%. Essa energia é suficiente para atender a UTR e ainda há excedente disponível para comercialização. A energia comercializável é 4mil MWh/ano. Com essa energia, é possível atender, aproximadamente, 340 residências se considerado, de acordo com Rochas (2013), o consume médio de 162 kWh.

O investimento inicial previsto para a implantação é de R\$ 220 milhões, incluindo o sistema de limpeza de gases de exaustão, obras de infraestrutura da UTR, sistema de geração de energia elétrica com turbinas, geradores, etc e subestação elétrica. A taxa de manutenção mensal é de R\$ 10,37 milhões, incluindo mão de obra.

A energia pode ser vendida no mercado de energia para as indústrias vizinhas à área da UTR, ou ser injetada na rede de distribuição. O vapor pode ser vendido às indústrias locais, uma vez que a região tem uma grande variedade de indústrias como metalúrgicas, químicas, etc. que utilizam vapor em seu processo produtivo. A venda desses subprodutos pode ser acrescentada ao fluxo de caixa como receita acessória. Para este estudo, foi considerado o valor de R\$ 113,00 o MWh (EPE, 2010) para energia comercializável e R\$ 23,65 o MJ (EPE, 2010) de gás natural. Para um melhor retorno do investimento, o valor da taxa cobrado das prefeituras para tratamento do RSU é de R\$ 150,00/t. Contudo, a receita acessória da UTR será de R\$ 23,3 milhões ao ano, tornando o valor do investimento recuperável em 17 anos.

Não foi considerada a taxa de transporte do resíduo, o que ficaria sob responsabilidade dos municípios geradores.

5. CONCLUSÃO

Com este trabalho foi possível verificar que é viável a implantação de uma UTR com a tecnologia de plasma para atender as cidades próximas de Taubaté. Apesar de o investimento inicial ser alto e os equipamentos caros, o tempo de retorno é considerado médio. A possibilidade de vender a energia e o vapor gerados além da fração do RSU foram considerados como receita, assim como a tarifa paga pelas prefeituras para o tratamento do RSU. Não foram considerados os gastos com transporte, ficando sob responsabilidade dos municípios geradores, bem como a taxa de disposição final dos rejeitos que deverá ser paga pela prefeitura.

Outra receita acessória que pode ser aplicada, e não foi considerada na estimativa, é a proveniente da comercialização de créditos de carbono, um mecanismo desenvolvido para incentivar a redução de emissão do CO₂ equivalente na atmosfera.

Impactos ambientais significativos não há, pois os gases produzidos passarão por um rigoroso sistema de tratamento. A área necessária para a implantação é pequena, aumentando as opções de instalação de uma UTR a plasma, sem necessitar de desmatamento ou desapropriações, além de permitir a instalação próxima a centros urbanos, pelo baixo impacto ambiental. O rejeito proveniente pode ser aplicado na construção civil ou destinado a aterros de rejeito, porém não irá gerar chorume ou biogás por ser um resíduo já tratado.

Com a destinação dos resíduos recicláveis às cooperativas, as oportunidades de trabalho aumentarão, o que poderá tirar muitos catadores das ruas, lixões e aterros. Trabalho esse que irá valorizar e profissionalizar o catador, proporcionando a inclusão social e o resgate da cidadania.

Quando se compara a tecnologia de plasma com a incineração, o plasma ganha no potencial de geração de energia. Tratando 300 t/dia de RSU, o incinerador gera 1 mil MWh/mês. Com o plasma, tratando 382 t/dia, a geração de energia chega a 7.027 MWh/mês.

Com o apoio da Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que oferece subsídios para geração de energia através de biomassa (Resolução nº 247/06 e 271/07), a venda dessa energia se torna mais viável, aumentando assim, o interesse dos consumidores.

Com isso pode-se concluir que a implantação de uma usina de tratamento de RSU a plasma é vantajosa quando se tem como um dos principais objetivos a geração de energia renovável e descentralizada a partir de RSU.

O tratamento de RSU não é uma opção, é uma necessidade. Por isso, este trabalho certamente poderá colaborar com a elaboração dos planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos, uma vez que apresenta uma tecnologia para a recuperação energética dos RSU, ainda sem uso no Brasil.

Usar o lixo para gerar energia é uma solução não apenas econômica, mas também social e ambiental. Atualmente, o destino mais comum do lixo brasileiro são os lixões e aterros, que são um problema para a saúde e para o meio ambiente, pois contaminam o solo com um líquido altamente tóxico, o chorume, que polui também as águas de lençóis freáticos, e produz metano (CH_4), um gás ainda mais prejudicial à atmosfera que o próprio dióxido de carbono (CO_2), considerado o grande vilão do efeito estufa.

6. REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004:2004**.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2011.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2012.

AGÊNCIA BRASIL. **Especialistas querem que iniciativa privada ajude a implementar a política de resíduos**. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2012-10-18/especialistas-querem-que-iniciativa-privada-ajude-implementar-politica-de-residuos-solidos> Acessado em 04 set 2013

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 247 de 21 dez 2006**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS. **Recuperação energética de Resíduos Sólidos Urbanos**. Disponível em: <http://www.abetre.org.br/a-abetre/opiniao/recuperacao-energetica-de-residuos> Acesso em: 16jul 2013.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei nº 10.762 de 11 de novembro de 2003. **Diário Oficial**. Brasília, 12 de novembro de 2003. Seção 1, p. 127.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007. **Diário Oficial**. Brasília, 8 de janeiro de 2007. Seção 1, p. 3.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. **Diário Oficial**. Brasília, 03 de agosto de 2010. Seção 1, p. 3.

CEE. CENTRO DE ENERGIA EÓLICA. **Perguntas frequentes sobre energia eólica**. Disponível em <http://www.pucrs.br/ce-eolica/faq.php?q=4> Acessado em 04 set 2013.

CEMPRE. Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Política Nacional de Resíduos Sólidos. Agora é Lei**. Disponível em http://www.cempre.org.br/download/pnrs_002.pdf Acessado em 10 dez 2013.

CENBIO. Centro Nacional de Referência em Biomassa. Tecnologias de Aproveitamento. Disponível em <http://cenbio.iee.usp.br/saibamais/tecnologias.htm> Acessado em 29/11/2013.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos**. São Paulo 2012.

CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 3, de 28 de junho de 1990**.

CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 382 de 26 de dezembro de 2006**.

CORTEZ, C. L. **Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda de árvores para a geração de energia: Estudo de caso: AES Eletropaulo**. Tese Doutorado, USP. São Paulo, 2011.

CULTURAMIX. **A importância das cooperativas de catadores**. Disponível em <http://economia.culturamix.com/negocios/a-importancia-das-cooperativas-de-catadores> Acessado em 26/11/2013.

E4TECH. **Review of Technologies for gasification of biomass and wastes**. Jul 2009.

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

EMPLASA. Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano. **Regiões Metropolitanas Vale do Paraíba e Litoral Norte**. Disponível em http://www.emplasageo.sp.gov.br/uits/vale_paraiba/vale_paraiba.asp Acessado em 18fev2014.

ENGEBIO. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Estado da arte do tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica**. 2. ed. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.

ENGENHARIA E ARQUITETURA. **Gás natural nos ciclos combinados**. Disponível em <http://www.engenhariae arquitetura.com.br/noticias/41/Gas-natural-nos-ciclos-combinados.aspx> acessado em 26 nov.2013

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2019**. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2010.

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.

GRIPP, W. G. **Aspectos técnicos e ambientais da incineração de resíduos sólidos urbanos: considerações sobre a proposta para São Paulo**. São Carlos: 1998. 208 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

HEBERLEIN, J.; MURPHY A. B. **Journal of Physics D: Applied Physics**. Thermal plasma waste treatment. Minneapolis, USA. 14 fev 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/uf.php?coduf=31>> Acessado em: 16 ago 2013.

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

ROCHAS, ANNA FLÁVIA. **Consumo e Energia no Brasil sobe 3,9% no tri, impulsionado por residências**. Reuters Brasil. 30 out 2013. Disponível em <http://br.reuters.com/article/domesticNews/idBRSPE99T06U20131030> Acessado em 18.fev.14

SOUZA, M. F. **Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos com Recuperação Energética – Estudo para a Região de Taubaté, SP**. Trabalho de Conclusão de curso. Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade de Taubaté. Dez, 2011.

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

UNIVERSIDADE DO PORTO. **Plasma Pirólise**. CCI -Centro Científico Independente. Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~jotace/gtresiduos/plasmapirolise.htm> Acesso em: 21 ago 2013.

VIMIEIRO, G.V. **Tecnologias de Tratamento de Resíduos de Serviços de Saúde – Ênfase no uso do Plasma**. Belo Horizonte. ABES, 2004.

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