



Potencial de Produção de Energia Elétrica a partir da Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos no Município de Porto Alegre

Luiz Alberto Turmina de Oliveira¹

¹Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (luizturmina@gmail.com)

Resumo

O mundo está em expansão. É provável que em 2100 tenhamos 10 bilhões de habitantes. O crescimento populacional e o crescimento do consumo por produtos industrializados faz com que o mundo chegue a patamares nunca imaginados na geração de resíduos. Atrelado a isso, ainda temos o problema da destinação de todo este resíduo, que está ocasionando sérios problemas ambientais e que podem levar à extinção da raça humana. Pensando nestes problemas, o objetivo deste artigo é demonstrar que o pior passivo ambiental existente hoje pode ser resolvido e ainda se tornar solução para outro grande problema que é a demanda por energia. O grande motivador deste artigo foi conhecer as tecnologias disponíveis para a incineração dos resíduos sólidos urbanos e verificar qual seria o potencial de produção de energia a partir da incineração destes resíduos, com base nos resíduos gerados pelo município de Porto Alegre.

Palavras-chave: Produção de energia elétrica. Resíduos sólidos urbanos. Incineração.

Área Temática: Energia e Energias renováveis.

Potential for Electric Power Production from Municipal Solid Waste Incineration in Porto Alegre County

Abstract

The world is expanding. It is probable that in 2100 we have 10 billion people. Population growth and consumption growth for industrial products causes the world to reach levels never imagined in waste generation. Linked to this, we still have the problem of disposal of all this waste, which is causing serious environmental problems and can lead to the extinction of the human race. Thinking about these problems, the purpose of this article is to demonstrate that the worst environmental liabilities existing today can be solved and still become solution to another big problem which is the energy generation. The motivation of this article was to understand the technologies available for municipal solid waste incineration and find what would be the potential for electric power generation from the incineration of such waste, based in the waste generated by the city of Porto Alegre.

Key words: Electric power production. Municipal solid waste. Incineration.

Theme Area: Energy and Renewable energy.



1 Introdução

A produção de resíduos está aumentando no mundo, e no Brasil não é diferente. A saída de milhões de brasileiros da miséria e o aumento do poder de compra da população, somados com o aumento populacional, faz com que cresça o consumo por produtos industrializados e, consequentemente, a geração de resíduos. Devido à falta de planejamento, as grandes cidades não conseguem acompanhar a escalada de geração de resíduos. Milhões de toneladas deixam de ser coletadas e têm destinação imprópria. Outros milhões de toneladas são coletadas e também têm destinação imprópria.

A Lei Federal nº 12.305 de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, tentou estabelecer uma “destinação final ambientalmente adequada”, através da “reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético”, e proibindo a destinação final que não ocorresse em aterros sanitários. Contudo, apesar do largo prazo concedido para que os municípios se adequassem a nova Lei, a mesma teve que ser prorrogada. Uma forma de resolver este problema é por meio de um processo *Waste to Energy* (WTE), transformando lixo em energia através da recuperação energética, amplamente utilizada em diversos países, principalmente os países da Europa e Estados Unidos da América.

O objetivo deste artigo é verificar qual o potencial de produção de energia a partir da incineração dos resíduos gerados pelo município de Porto Alegre.

2 Metodologia

2.1 Resíduos Sólidos

Resíduos são as sobras dos processos produtivos derivados das atividades humanas, tais como matéria orgânica, lixo doméstico, efluentes industriais e gases liberados na atmosfera. A intensificação das atividades humanas, devido ao acelerado crescimento populacional, gerou, nas últimas décadas, um aumento significativo na produção de resíduos, tanto sólidos, quanto líquidos e gasosos, tornando-os um dos principais problemas ambientais a ser enfrentado pela administração pública (PNUD, 2010; SEBRAE, 2014).

A falta de planejamento dos grandes centros urbanos para lidar com o crescente consumo de produtos industrializados tem dificultado as ações e manejo dos resíduos, produzindo incalculáveis efeitos nocivos ao meio ambiente. Estes resíduos estão sendo depositados incorretamente em locais despreparados para recebe-los, em lixões, gerando um grave problema socioambiental (PNUD, 2010; SEBRAE, 2014).

Os lixões são a forma mais inadequada de descarte dos resíduos sólidos, pois não possuem prevenção à danos ambientais, causando a poluição do solo, da água e do ar, além de danos à saúde humana, através da proliferação de doenças (PNUD, 2010). Segundo IBGE (2010), 50,8% dos municípios brasileiros destinam seus resíduos para vazadouros a céu aberto, os chamados lixões. A região Sul do país possui a menor proporção, com 15,8%. No Estado do Rio Grande do Sul, 16,5% dos municípios ainda destinam seus resíduos à lixões.

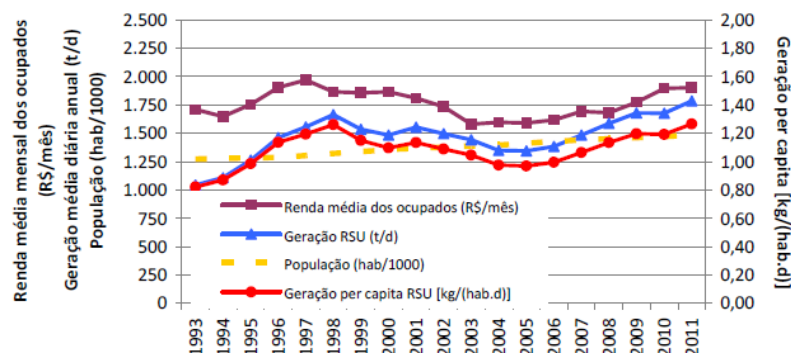
2.2 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

Conforme a Lei Federal nº 12.305 de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são “os resíduos domiciliares, originários de atividades domésticas em residências urbanas, e os resíduos de limpeza urbana, originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana”.

Um estudo elaborado por Porto Alegre (2013) no município de Porto Alegre demonstra que a geração de RSU está intimamente ligada à renda da população. No comparativo, conforme a Figura 1, a curva quantidade de resíduos gerados acompanha a curva renda mensal média dos trabalhadores assalariados.



Figura 1 - Relação da geração de RSU com a população e o rendimento da população.



Fonte: PORTO ALEGRE (2013).

Segundo Porto Alegre (2013) e Santos (2011), diversos fatores influenciam na geração de RSU:

- Densidade populacional: a geração de resíduos é diretamente proporcional à quantidade de habitantes em um determinado espaço ou região;
- Costumes locais: os hábitos de consumo de uma determinada população interferem diretamente no volume e na massa de resíduos gerados;
- O clima: o clima interfere diretamente nos hábitos de consumo;
- A sazonalidade: a sazonalidade pode interferir nos hábitos de consumo, bem como na redução ou aumento sazonal da população de determinada localidade;
- A condição econômica: o maior poder de compra interfere diretamente nos hábitos de consumo;
- Desenvolvimento do país: um país mais desenvolvido fornece acesso a um número maior de produtos industrializados.

Os dados mais recentes sobre a geração, coleta e destinação final de RSU no Brasil foram elaborados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) no ano de 2014, referentes aos anos anteriores e estabelecendo um comparativo entre eles. Em 2013 o Brasil gerou 76,3 milhões de toneladas de RSU, um aumento de 4,1% na comparação com 2012. Esse índice foi maior que a taxa de crescimento populacional no mesmo período, que foi de 3,7%. Se comparado com 2008, que teve uma geração de 53 milhões de toneladas de RSU, o crescimento é de aproximadamente 43,96%, uma taxa impressionante num intervalo de cinco anos (ABRELPE, 2014).

Em comparação ao ano de 2012, em 2013 a quantidade coletada de RSU também cresceu em todas as regiões do país, com uma cobertura de 90,41% de todo RSU gerado. Em 2013 foram coletadas 69 milhões de toneladas de RSU, um aumento de 4,4% na comparação com 2012. A relação entre a quantidade gerada e a quantidade coletada de RSU mostra que, em 2013, mais de 20 mil toneladas de RSU deixaram de ser coletadas diariamente. Assim sendo, essa enorme quantidade teve uma destinação imprópria (ABRELPE, 2014).

Em relação a destinação final dos RSU, a situação do Brasil se manteve praticamente a mesma entre os anos de 2012 e 2013. É inquietante saber que somente 58,3% dos RSU têm uma destinação final ambientalmente correta. Foram 28,8 milhões de toneladas que tiveram como destino final os lixões ou aterros controlados. Do ponto de vista ambiental, os lixões e os aterros controlados têm poucas diferenças, pois somente os aterros sanitários possuem o “conjunto de sistemas necessários para a proteção do meio ambiente e da saúde pública” (ABRELPE, 2014).



As grandes regiões metropolitanas são as que mais sofrem devido a escala de geração de RSU. A geração de RSU per capita está diretamente relacionada ao tamanho da cidade, em termo populacional. Isto ocorre porque o poder de compra dos habitantes das grandes cidades é, na média, maior que o poder de compra dos habitantes das cidades pequenas. Essas regiões são responsáveis por cerca de 40% de todo o lixo gerado no país, e, apesar disso, ainda “não possuem um investimento ideal no gerenciamento e tratamento dos seus RSU”, ainda destinando grande parte dos seus resíduos à lixões e aterros controlados (SANTOS, 2011).

2.3 Produção de Energia Elétrica a partir da Incineração de RSU

Segundos Santos (2011), “a incineração é um processo para o tratamento dos resíduos que envolve a combustão das substâncias orgânicas presentes na matéria que compõe os resíduos”. Também pode ser considerada um processo de reciclagem energética, pois a energia dos resíduos liberada na queima pode ser reaproveitada para outros processos, como a produção de energia elétrica.

A utilização de incineração para transformar lixo em energia através da recuperação energética é denominada WTE. Devido ao aumento da geração de RSU, ao aumento da preocupação com o meio ambiente, e ao aumento da procura por fontes renováveis de energia, a utilização da tecnologia WTE expandiu-se pelo mundo, pois consegue tratar, ao mesmo tempo, essas três necessidades fundamentais para a continuidade da vida na Terra. Reduzir o maior passivo ambiental em quase 90% transformando-o em energia elétrica é algo sem precedentes.

Contudo, mesmo sendo considerado a forma mais segura de destinação de resíduos, devido ao combustível utilizado, a utilização desta tecnologia deve ser constantemente monitorada para garantir a qualidade do meio ambiente. O RSU é um combustível heterogêneo, de composição desconhecida e variável ao longo do tempo, principalmente em sua umidade e poder calorífico (MACHADO, 2015; SANTOS, 2011). “Os sistemas modernos de incineração de RSU são dotados de sistemas automatizados de controle contínuo das variáveis de combustão”, corrigindo em tempo real “os diversos parâmetros da queima, mantendo a combustão regular durante a sua operação” (SANTOS, 2011).

Os produtos do processo de incineração são cinzas, gases da combustão e calor. Antes de ser emitido na atmosfera, é necessário dar um tratamento adequado aos gases da combustão para reduzir a concentração de poluentes e de material particulado. A melhor tecnologia disponível hoje lança na atmosfera gases tratados mais limpos que o ar respirado em algumas grandes cidades. As cinzas, formadas por componentes inorgânicos presentes nos resíduos, também precisam de um tratamento adequando (SANTOS, 2011).

Os incinerados podem reduzir em até 90% o volume original de resíduos, dependendo da sua composição e grau de recuperação de materiais, não substituindo por completo os aterros, porém, aumentando em muito sua vida útil (PORTO ALEGRE, 2013; SANTOS, 2011).

Para Santos (2011), os principais aspectos positivos da utilização de incineradores de RSU para a produção de energia elétrica são:

- Quanto à recuperação energética: as plantas de incineração possuem uma eficiência de aproveitamento melhor que os aterros sanitários.
- Quanto à facilidade de instalação próximo aos centros urbanos: as plantas de incineração podem ser instaladas e operadas bem próximas aos grandes centros urbanos, reduzindo o custo logístico do gerenciamento dos resíduos e a distância percorrida para a destinação dos resíduos.
- Quanto à recuperação de materiais: a recuperação de materiais nas plantas de incineração é completamente viável. Atualmente, muitas plantas de incineração de RSU têm um pré-tratamento dos resíduos para a separação dos materiais recicláveis.



2.4 Incineração de RSU como Energia Renovável

A incineração de RSU para a produção de energia não é algo novo. A transformação de lixo em energia, mundialmente denominada WTE, ocorre em diversos países, principalmente aqueles com pouco espaço territorial ou com fortes políticas de valorização do meio ambiente.

Nos países europeus, principalmente nos mais desenvolvidos, grande parte dos RSU são destinados à incineração. Por questões territoriais e ambientais, a destinação em aterros está sendo, cada vez mais, substituída pela destinação para plantas de incineração com produção de energia elétrica, onde, dos maiores produtores de energia renovável a partir de RSU, poucos ainda utilizam aterros.

França e Alemanha são os países com o maior número de plantas instaladas. Em 2008, haviam 129 plantas na França e 67 plantas na Alemanha. No mesmo ano, na Europa haviam 431 plantas de incineração de RSU, tratando 68,8 milhões de toneladas de RSU por ano (SANTOS, 2011). A produção de energia elétrica a partir de RSU cresceu significativamente na Europa nos últimos anos, sendo que a produção de alguns países, como Alemanha, Itália e Suécia, mais que dobrou em dez anos de comparação. A produção total da Europa passou de 4,9 milhões de tep (tonelada equivalente de petróleo) em 2003 para 8,8 milhões de tep em 2013, ou seja, aproximadamente 103 TWh (Terawatt-hora).

Assim como na Europa, a produção de energia elétrica a partir de RSU também cresceu nos EUA. Segundo Santos (2011), pelo menos metade dos estados dos Estados Unidos da América tinham entre uma ou duas plantas de incineração WTE em operação em 2008, consumindo 26 milhões de toneladas de RSU por ano, e gerando cerca de 22,7 TWh de energia elétrica. A maior parte das plantas de incineração americanas, 80%, utilizam fornos de grelha para incinerar os RSU, por ser uma tecnologia simples e de baixo custo de instalação e operação.

Considerando a produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis nos EUA no ano de 2002, as incineradoras de RSU geraram 13,5 TWh de energia elétrica, sendo a terceira maior fonte de produção de energia renovável, perdendo somente para as fontes hidroelétrica e geotérmica (SANTOS, 2011). Nos EUA, os resíduos biodegradáveis, incluindo RSU, são classificados como fonte de energia renovável, e por este motivo fazem parte das metas de consumo e investimentos em energias renováveis.

Atualmente, existem 86 plantas de incineração de RSU nos EUA, localizadas em 25 estados, principalmente os do Norte. Pouca coisa mudou desde 2008. Nenhuma planta nova foi construída desde 1995, porém, as capacidades de utilização de resíduos e de produção de energia foram expandidas. Hoje, estas 86 incineradoras geram 23,8 TWh. Para produzir esta quantidade de energia foram necessárias 28 milhões de toneladas de RSU, das quais, após a incineração, ainda sobraram 10% deste volume (EPA, 2015).

Além dos países da Europa e dos EUA, outros países também investem na incineração. No Japão, por exemplo, 100% dos RSU são incinerados. Em outros países asiáticos, como China, Índia, Coreia do Sul, Taiwan e Filipinas, as plantas de incineração estão sendo instaladas em grande número. Porém, no Brasil, a incineração é utilizada somente para resolver os problemas dos resíduos hospitalares e perigosos.

3 Resultados

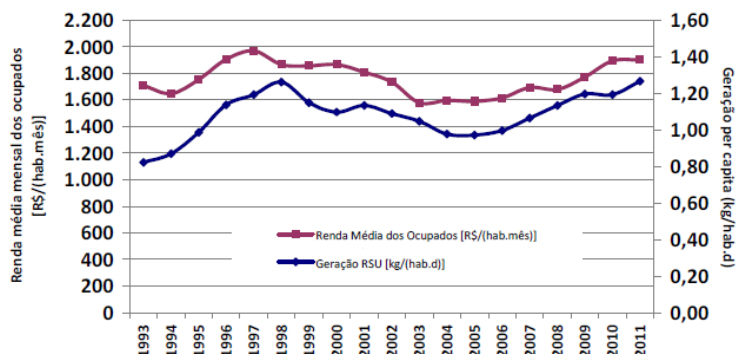
3.1 Descrição do Cenário

Porto Alegre é a capital do Estado do Rio Grande do Sul. Possui hoje, segundo o IBGE, 1.467.823 habitantes, distribuídos em uma área de 496 km². Em 2011, a geração de RSU foi de 559 mil toneladas de RSU, 46.585 toneladas por mês, 1.786 toneladas de RSU por dia útil (considerando 313 dias úteis por ano). No mesmo ano, a geração per capita de RSU foi de 1,27 kg por habitante por dia (kg/hab.d) (PORTO ALEGRE, 2013).



Embora não se possa correlacionar a geração de RSU com a densidade populacional para o município de Porto Alegre, conforme demonstra a Figura 2, a geração de RSU pode ser relacionada com o aumento da renda média mensal dos habitantes do município (PORTO ALEGRE, 2013).

Figura 2 - Relação da geração per capita de RSU com a renda média mensal da população.



Fonte: Adaptado de PORTO ALEGRE (2013).

Do total de RSU gerados em 2011 em Porto Alegre, 96% foram destinados para aterro, 2,8% para a reciclagem e 1,2% para reciclagem orgânica. O custo para o gerenciamento destes resíduos, considerando a coleta, a triagem, o transporte e a destinação final, foi de R\$ 339,00 por tonelada, totalizando um custo anual de R\$ 189.507.102,00, aproximadamente cento e noventa milhões de reais, R\$ 134,20 por habitante (PORTO ALEGRE, 2013).

Atualmente o único aterro sanitário do Estado do Rio Grande do Sul com licenciamento ambiental capaz de suportar a demanda de Porto Alegre é o Aterro Sanitário da Central de Resíduos do Recreio (ASCRR), localizado na cidade de Minas do Leão, há 82 km. Hoje este aterro prevê aporte máximo de 90.000 t/mês (toneladas por mês), e uma vida útil de 23 anos. Além dos resíduos de Porto Alegre, outros 148 municípios depositam seus resíduos no aterro ASCRR, além de algumas empresas (PORTO ALEGRE, 2013).

3.2 Produção de Energia Elétrica a partir da Incineração de RSU em Porto Alegre

A escolha de qual tecnologia se adapta melhor ao município de Porto Alegre deve levar em consideração diversos fatores, tais como: a quantidade de RSU a ser processada, a quantidade de energia elétrica a ser produzida, o poder calorífico dos RSU processados, a distância da planta de incineração das linhas de transmissão, as questões ambientais relativas à incineração, etc. Considerando que esta é uma proposta de substituição do atual modelo de destinação ao aterro ASCRR, serão considerados somente os fatores relacionados aos RSU gerados pelo município.

Um estudo feito em 2010 pela Divisão de Destino Final (DDF) do Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) de Porto Alegre estabeleceu que o poder calorífico inferior médio, deste município, é de 3.284 kcal/kg (quilocaloria por quilo), devido aos materiais que compõem o seu RSU (PORTO ALEGRE, 2013). Considerando este valor, considerando que o município gera 1.786 toneladas de RSU por dia útil, a tecnologia que melhor se adapta a Porto Alegre é a de fornos de grelha, pois tem a capacidade e tecnologia necessária para processar a quantidade de RSU gerada com o poder calorífico estipulado.

Tendo especificado a tecnologia de incineração, o próximo passo seria determinar a quantidade de energia que poderia ser produzida através dos RSU gerados por Porto Alegre, porém, novamente, vários fatores devem ser considerados, tais como: o grau de aperfeiçoamento tecnológico do forno, a forma na qual o RSU dará entrada no incinerador (com



ou sem prévia secagem), a utilização ou não de combustível auxiliar, o poder calorífico dos RSU processados, etc. Considerando as bibliografias revisadas de EPE (2008), KLAUS (2014), Morgado et al. (2006) e WTER (2012), foi possível elaborar um quadro comparativo com a quantidade de energia produzida por cada tonelada de RSU que entra no incinerador, conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 - Produção de energia elétrica por tonelada de RSU.

Autor	MWh/t de RSU	Observações
EPA (2002)	0,523	Apud Morgado et al. (2006)
EPE (2008)	0,830	
Kadir et al. (2013)	0,639	Apud Klaus (2014)
Puna e Baptista (2008)	0,587	Apud Klaus (2014)
Tolmasquim (2003)	0,769	Apud Morgado et al. (2006)
Tsai e Kuo (2010)	0,622	Apud Klaus (2014)
WTER (2012)	0,500	
	0,750	Ciclo Combinado Otimizado (até 25% de gás natural)
Média	0,653	

Fonte: Elaborada pelo autor.

Considerando a média de 0,653 MWh/t (Megawatt-hora por tonelada) de produção de energia estabelecida no quadro acima, e considerando o total de RSU gerados pelo município, 559 mil toneladas por ano, o potencial de produção de energia elétrica de Porto Alegre, a partir da incineração de RSU, é de 365 GWh por ano. Este potencial equivale a uma usina de 41,67 MW e representa 10,17% da energia elétrica consumida por Porto Alegre, considerando os dados de 2012 onde foram consumidos 3.590 GWh durante o ano.

Após determinar a energia produzida pela incineração, podemos calcular o prolongamento da vida do aterro no qual o município deposita seus resíduos. Se considerarmos uma redução média de RSU ao volume de 10% após a passagem pela incineração, e considerando que hoje são gerados 46.585 toneladas por mês de RSU em Porto Alegre, ao final do processo restariam 4.658 toneladas de RSU por mês. Em relação ao aterro ASCRR que prevê aporte máximo de 90.000 t/mês e uma vida útil de 23 anos, esta redução dos resíduos de Porto Alegre poderia prolongar a vida do aterro para 42 anos, sendo considerando para este cálculo o total de resíduos gerados pelo município igual ao total de RSU.

4 Conclusões

A incineração de RSU para a produção de energia elétrica já é um processo consolidado, com vários resultados satisfatórios encontrados pelo mundo. Existem diversas maneiras de tornar este processo possível e, talvez, este seja um pequeno problema ao se fazer um estudo sobre o tema. As diferentes combinações possíveis de plantas de incineração e os diferentes materiais encontrados nos RSU das cidades que utilizam esta tecnologia geram inúmeras informações, não contraditórias, mas diferentes.

Independente da quantidade de energia que possa ser produzida em uma planta de incineração, os benefícios ambientais com a utilização deste processo são incalculáveis. Por fazer parte de um sistema de gerenciamento integrado, além da redução dos resíduos e da produção de energia, há a recuperação de materiais através da reciclagem e a destinação final ambientalmente correta em aterros sanitários.

Como pôde ser verificado neste artigo, com valores médios sendo utilizados nos cálculos, e não considerando a constante evolução tecnologia pela qual passam esses equipamentos, o potencial de produção de energia chega a 10% do total consumido por Porto Alegre. Considerando também os benefícios ambientais que poderiam ser gerados, a



possibilidade de instalar uma planta deste tipo no município deveria ser pauta dos próximos representantes locais.

Referências

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: 2014.

EPA, Environmental Protection Agency. **Energy Recovery from Waste**. Disponível em <<http://www.epa.gov/waste/nonhaz/municipal/wte/>>. Acesso em: junho de 2015.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS**. Rio de Janeiro: 2008.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro: 2010.

KLAUS, Otávia Lidia. **Potencial de Aproveitamento de Resíduos Sólidos Urbanos da Mesorregião Oeste do Paraná para Geração de Energia Elétrica**. Cascavel: 2014

MACHADO, Camila Frankenfeld. **Incineração: Uma Análise do Tratamento Térmico dos Resíduos Sólidos Urbanos de Bauru/SP**. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2015.

MORGADO, Túlio Cintra; FERREIRA, Osmar Mendes. **Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos, Aproveitamento na Co-geração de Energia. Estudo para a Região Metropolitana de Goiânia**. Goiânia: PUC Goiás/Departamento de Engenharia Ambiental, 2006.

PNUD, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (Lixo, Esgoto), Visando Incrementar o uso de Biogás como Fonte Alternativa de Energia Renovável**. São Paulo: 2010.

PORTO ALEGRE, Prefeitura Municipal de. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, Volume 1 – Diagnóstico e Prognóstico**. Porto Alegre: 2013.

SANTOS, Guilherme Garcia Dias dos. **Análise e Perspectivas de Alternativas de Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos: o Caso da Incineração e da Disposição em Aterro**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

SEBRAE, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Uso de Resíduos e Dejetos como Fonte de Energia Renovável**. Brasília: 2014.

WTERT, Waste-to-Energy Research and Technology Council Brasil. **Geração de Energia Elétrica com Resíduos Sólidos Urbanos - Usinas “Waste-to-Energy” (WTE)**. Rio de Janeiro: 2012.