

**Eixo Temático: Inovação e Sustentabilidade**

**WASTE-TO-ENERGY: O TRATAMENTO TÉRMICO DE RSU COMO  
ALTERNATIVA PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL**

**WASTE-TO-ENERGY: THERMAL TREATMENT AS AN ALTERNATIVE TO  
ENERGY GENERATION IN BRAZIL**

Ângela Maria Ferrari Dambros e Tito Francisco Ianda

**RESUMO**

A degradação do meio ambiente é uma questão que transpassa as fronteiras geográficas, impulsionando o esforço global em busca de mecanismos para a solução de problemáticas como a dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Anualmente milhares de toneladas de RSU são geradas e, ao não receberem o tratamento apropriado, tornam-se fontes de poluição do ar, do solo e das águas. Como forma de reduzir os impactos ambientais dos RSU, alguns países adotaram o processo de tratamento térmico dos resíduos, técnica capaz de gerar energia e de reduzir em 90% o volume de resíduos. Diante disso, o presente estudo buscou identificar os prós e contras da transferência da tecnologia de tratamento térmico de RSU para o Brasil através do estudo de caso da Noruega e dos Estados Unidos, países que tiveram sucesso na adoção desta tecnologia.

**Palavras-chave:** Energia; Resíduos Sólidos Urbanos; Tratamento Térmico

**ABSTRACT**

The degradation of the environment is an issue that pierces geographical borders, boosting the overall effort in search of mechanisms for solving problems such as municipal solid waste (MSW). Every year, thousands of tons of MSW are generated and when they do not receive proper treatment, they become sources of pollution of air, soil and water. In order to reduce the environmental impacts of MSW, some countries have adopted the process of thermal treatment of waste, technique to generate energy and reduce by 90% the volume of waste. Given this, the present study sought to identify the pros and cons of transfer thermal treatment of MSW technology to Brazil through the case study of Norway and the United States, countries that succeed in adopting this technology.

**Keywords:** Energy; Municipal Solid Waste; Thermal Treatment

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente degradação do meio ambiente é um problema de grande repercussão global da atualidade. Os esforços da elite global na criação de mecanismos de redução das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera e a latente polêmica dos ambientalistas com o aumento do volume e destino dos resíduos urbanos estão sendo trabalhados de forma reativa em alguns países da Europa, como a Alemanha, Noruega e Inglaterra, Suécia, Itália, Finlândia e Dinamarca, entre outros. Entre os instrumentos utilizados nesses países no âmbito de redução das emissões de gases nocivos na atmosfera, destaca-se a usina de tratamento térmico de resíduos para a produção de energia (FISIA BABCOCK ENVIEROMENT, 2012). A iniciativa tem tido aceitação em vários países, sendo adotada como um mecanismo de redução dos dejetos produzidos pelas indústrias e resíduos descartados em aterros a céu aberto. Um dos exemplos de adoção do sistema no Brasil consiste na região do São Bernardo do Campo, em São Paulo. A região está com o projeto em andamento para implantação de uma usina de incineração com a capacidade de produzir até 30 megawatts/hora (CARVALHO, 2011).

No entanto, a literatura sustenta que nos anos de 1960 já existia usinas de geração de energia a partir do lixo nos EUA. O sistema teve sucesso nos EUA, mas houve redução dos incentivos de expansão do projeto no país devido a manifestações de grupos contrários ao processo. Na Europa, e mais especificamente na Noruega, o sistema está tendo sucesso e serve de exemplo para outros países. Neste contexto, o presente artigo se propõe a analisar os casos de adoção do tratamento térmico dos RSU nos Estados Unidos e na Noruega e, a partir disso, verificar os prós e contras da transferência desta tecnologia para o Brasil. Entre as fontes de energia renováveis e alternativas existentes no mundo, cada sistema possui um nível de aceitação e políticas diferentes. No entanto, a sua aceitação e adaptação deve ocorrer no contexto ambiental, considerando o ciclo de vida do sistema, a necessidade e o ecossistema local (ONUDI, 2014). Ainda vale frisar que além do aspecto ambiental e implicações políticas na adoção do sistema de alternativa energética, a questão econômica e tecnológica também apresentam uma considerável importância. Neste contexto, os países emergentes enfrentam uma grande barreira no âmbito de instaurar nova tecnologia direcionada a diversificar a prática anteriormente dominada pela cultura nacional e adaptação à nova realidade.

Para desenvolver o presente estudo, inicialmente partiu-se do pressuposto de que o Brasil, apesar de ser um país emergente, enfrenta sérios problemas energético, além da problemática da destinação de grande volume do lixo de seus 200 milhões de habitantes. Para solucionar esse impasse de forma sólida, busca-se realizar um estudo de caso da iniciativa norueguesa de geração de energia a partir de incineração de lixo e em seguida efetuar uma comparação em relação ao contexto brasileiro. O artigo está estruturado em 7 grandes tópicos, incluindo introdução; revisão da literatura; metodologia; análise; discussão dos resultados e conclusão; limitações e recomendações de estudo e referências.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 ENERGIA NO MUNDO

A energia é caracterizada como elemento principal na promoção do desenvolvimento. Também quando comparado com outros fatores que contribuem de forma negativa ao meio ambiente, a energia se apresenta como elemento de alto impacto. Estima-se que entre as fontes de emissões de gases de efeito estufa na atmosfera, a produção de energia representa de 60% a 80% das emissões (ONUDI, 2014).

Apesar de energia ser um elemento de grande importância na sociedade, o relatório da ONU (2012), revela a presença de uma grande escassez da energia no mundo, afirmando que

uma em cada cinco pessoas no mundo está sem acesso à energia elétrica, o que representa um total de 1,3 bilhões de pessoas. E acrescenta que ao todo, 2,7 bilhões de pessoas dependem de outras fontes de energia como carvão mineral, madeira, carvão vegetal e óleo de animal para aquecer e cozinhar.

Entre as grandes variedades das fontes de energia existentes no planeta, ultimamente os países da elite global estão cada vez mais buscando adotar as fontes renováveis e alternativas como estratégia para reduzir a dependência do petróleo e preservar o meio ambiente (ONU, 2012). Uma das vantagens de energia renovável decorre de que ela é uma fonte barata economicamente e sustentável ambientalmente, aponta ONU (2012). O sistema é fortemente recomendado para os países emergentes, enfatizando que a energia renovável, quando implantada de forma sustentável pode promover o desenvolvimento econômico e social, uma vez que permite aos hospitais funcionarem de forma correta, além de contribuir para eletrificação nas escolas.

A distribuição de energia no mundo ainda apresenta forte predominância do óleo, o que representa 32,8% da energia mundial, em seguida o Carvão Mineral com 27,2% de participação, seguido de Gás Natural e Energias Renováveis com 20,9% e 10,2%, respectivamente. A energia Nuclear representa 5,8%, e Hidráulica 2,3% de participação na matriz energética mundial, enquanto outras fontes representam 0,8% (Conselho de Altos Estudos e Avaliação Tecnológica, 2012). Estas informações permitem verificar que a participação de energias renováveis no mundo ainda é muito pequena, representando 13%, enquanto as fontes não renováveis representam 87%, apesar de crescente aumento substancial da participação das renováveis na matriz energética mundial (MME, 2012). Este fato permite salientar que os efeitos das políticas adotadas no âmbito de mitigação das emissões de gases de efeito estufa com enfoque na geração de energias renováveis e alternativas ainda apresentam pequenas variações na composição da matriz energética mundial, apesar da crescente movimentação das Organizações Ambientais na concepção de novas fontes alternativas de geração de energia.

### **2.1.1 Energias Renováveis e Alternativas**

As fontes de energias renováveis e alternativas podem ser consideradas como resultados de iniciativa dos países desenvolvidos e emergentes para mitigar as mudanças climáticas causadas pelas atividades humanas, principalmente da emissão de gases de efeito estufa pelas fontes de energia não renováveis. A ONUDI (2014), afirma que há uma forte relação entre atividades humanas e mudanças climáticas. Entre as estratégias adotadas para preservação do meio ambiente após o protocolo de Kyoto (2010), os países industriais têm demonstrado esforços no contexto do cumprimento do acordo sobre a prevenção das mudanças climáticas que ocorrem por ocasião de atividades humanas. Conforme a ONUDI (2014), para atingir os objetivos do acordo ambiental de Kyoto sobre a redução das emissões de gases do efeito estufa, de 60% a 80% de reduções devem advir das fontes de energia, tendo em vista que as fontes energéticas são responsáveis por maior volume das emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera (ONUDI, 2014).

Existem várias fontes de energias renováveis no mundo e com a crescente pressão dos órgãos ambientais no contexto de mitigação dos gases de efeito estufa, universalização de acesso à energia, os países industrializados estão cada vez mais direcionando políticas no âmbito de concepção de fontes de alternativas de energéticas (ONUDI, 2014). As fontes renováveis são cada vez mais presentes nos países emergentes devido às vantagens econômicas e o potencial de recursos existentes nesses países. Entre as fontes renováveis e alternativas, destacam-se a Geotérmica, Solar, Eólica, Hidroelétrica, o Biogás, Energia de

Oceano e da Biomassa. No entanto, cada fonte possui sua política, vantagens e desvantagens quanto ao uso e eficiência (MAPFE, 2009; ONUDI, 2014).

Apesar de os sistemas apresentados acima serem de grande utilização mundialmente, neste estudo, pretende-se apresentar um incipiente sistema alternativa de geração de energia a partir do lixo. A literatura evidencia que o sistema teve sucesso na Noruega e que serviu de inspiração para outros países (FISIA BABCOCK ENVIEROMENT, 2012). Uma das vantagens de geração de energia a partir do lixo consiste no impacto social e ambiental do sistema na sociedade. Os impactos envolvem desde a redução dos resíduos descartados nos lixões até de promover a segurança energética (ONUDI, 2014).

O sistema de produção de energia a partir do lixo começa a ser instituído a partir do ano 2012 na Noruega. Estima-se que atualmente são produzidas 1,3 bilhões toneladas de lixo no mundo e esta quantidade deve aumentar para 2,2 bilhões até 2025 (PNUMA, 2014). E mais de 70% são descartados a céu aberto e 13% a aterro controlado e 10% a aterro sanitário, causando danos à população, degradação do solo, contaminação dos mares e poluição do ar. Neste contexto, a transformação do lixo para geração de energia não deve ser considerado apenas uma necessidade, mas uma emergência (PNUMA, 2014).

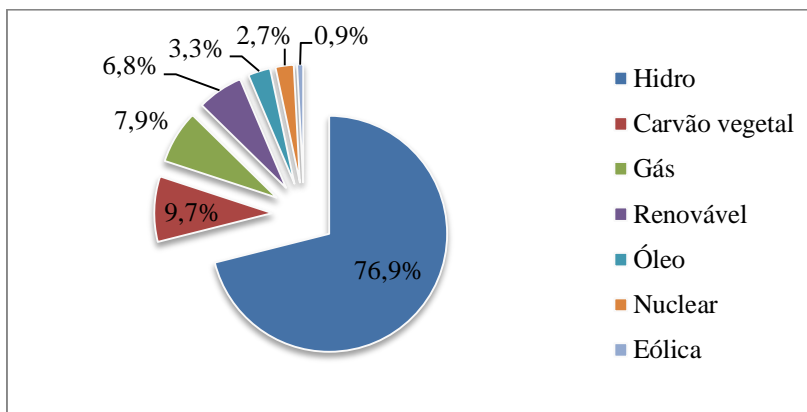
### 2.1.2 Matriz Energética no Brasil

A configuração das fontes de energia no Brasil apresenta uma significativa diferença quando comparado com o resto do mundo. Enquanto a matriz energética no mundo é preenchida pelo petróleo e derivados, no Brasil a matriz energética é constituída por fontes hidrelétricas, o que representa 76,9% da oferta nacional (MME, 2013). Além disso, as agências de energia seguem impulsionando a expansão das hidrelétricas como instrumento do crescimento econômico, enquanto os críticos defendem a criação de novas fontes alternativas de geração de energia. A construção de hidrelétricas gera fortes impactos negativos na sociedade. Estima-se que cerca de 1 milhão de pessoas já sofreram com impactos da construção de hidrelétricas no Brasil e 70% dessas pessoas não receberam nenhuma indenização de seus prejuízos (INTERNATIONAL RIVERS, 2014). Também se argumenta a presença impropriedades no planejamento e a falta de transparência no licenciamento para construção de hidrelétricas no Brasil.

Entretanto, a energia Eólica está emergindo no Brasil, mas em pequena escala quando comparado com outras fontes. O potencial de energia eólica instalado no Brasil é de 5 mil megawatts, enquanto o potencial mundial bruto é estimado em 500 mil TWh (ANEEL, 2003; CNI, 2008). Segundo Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2003), o uso da energia Solar fotovoltaica começa a ser instituída no Brasil em 1960, com objetivo de atender as comunidades que não têm acesso à energia convencional e a promover o desenvolvimento regional. Também o sistema é utilizado para aquecimento dos chuveiros de banho (ANEEL, 2003). Além disso, existem vários projetos em andamento no âmbito de geração da energia elétrica a partir do sistema fotovoltaico. A maioria dos projetos é direcionada ao abastecimento das zonas rurais da região norte e nordeste do Brasil, com foco na iluminação pública, bombeamento de água, eletrificação das escolas, piscicultura, irrigação e atendimento residencial (ANEEL, 2003).

As demais fontes de energia existentes no Brasil são de pequena escala, com exceção do Carvão vegetal e Gás natural que ocupam a segunda e terceira posição, respectivamente na matriz energética nacional, conforme apresentada na Figura 2 a seguir.

Figura 1 - Composição da oferta de energia no Brasil



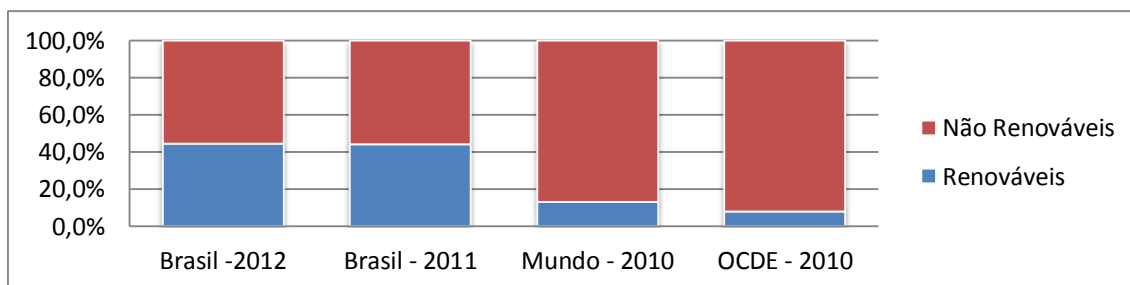
Fonte: autores, a partir de dados do Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional. 2013.

A Figura 2 permite verificar a distribuição percentual das fontes de energia no Brasil. A partir da figura, fica evidente que a composição das fontes de energia no Brasil é bastante diferente aos dos países desenvolvidos, devido à disponibilidade das fontes primárias disponíveis no Brasil para construção de sistemas de geração hidroelétrica e a forte presença de Gás natural. Em termos de energia limpa, o Brasil representa melhor posição quando comparado com seus pares da América Latina e o resto do mundo (MME, 2013). Entretanto, em relação à distribuição e acesso, estima-se que 2% da população brasileira ainda carecem de acesso (ONU, 2014). Por outro lado, o País enfrenta sério problema com a destinação do constante aumento no volume de resíduos sólidos além da preocupação com a crise de racionamento que frequentemente diminui o nível das represas e provoca apagões. Fatores que evidenciam a necessidade novas fontes alternativas para garantir a segurança energética e contribuir para a universalização de acesso à energia elétrica (IPEA, 2011).

### 2.1.3 Política Energética Brasileira

O relatório do Ministério de Minas e Energia (2013) demonstra que a participação da energia renovável no Brasil manteve-se historicamente acima da média mundial. O que permite observar o esforço do governo no âmbito de investimentos e fomento das energias renováveis no País ao longo dos anos (Figura 3).

Figura 2 - Evolução da Participação da Energia renovável no Brasil



Fonte: MME, 2013.

A partir da Figura 3 acima, fica evidente o aumento no nível de participação das energias renováveis no Brasil. Fator que reflete não somente na concepção política em relação às energias limpas, mas também em um consenso de agentes políticos na promoção de

segurança energética por meio de mecanismos sustentáveis de geração e distribuição da energia.

## 2.2 GERAÇÃO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS NO MUNDO

O modelo econômico atual é caracterizado pelo consumismo, pelo desenvolvimento de produtos com ciclos de vida cada vez menores que, ao serem considerados obsoletos, muitas vezes são descartados de forma inadequada. Associado a isto se observa um crescimento populacional acelerado, resultando na geração de volumes cada vez maiores de resíduos sólidos e, por consequência, no agravamento das taxas de poluição ambiental.

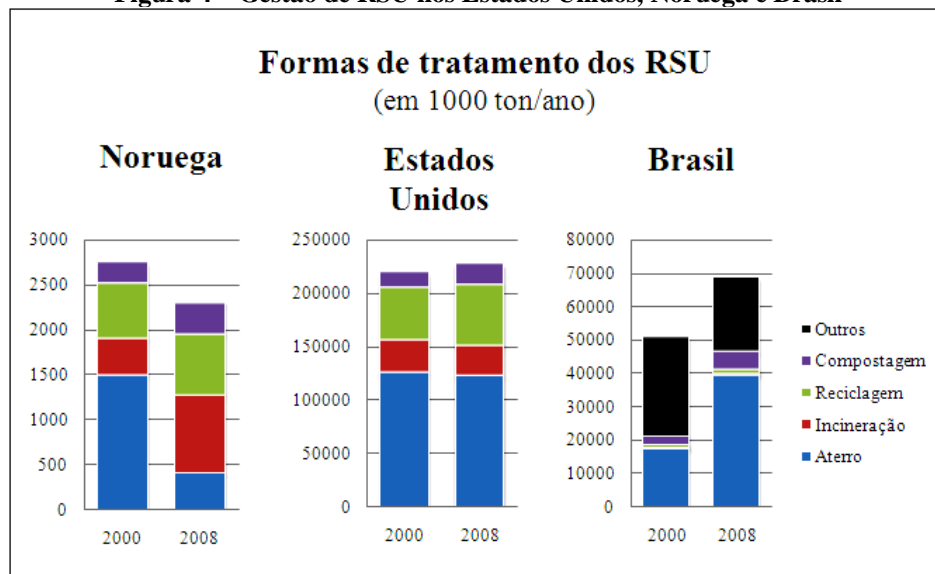
Segundo o relatório What a Waste de 2012, a problemática dos resíduos sólidos está associada a áreas urbanas, uma vez que os volumes gerados em áreas rurais são significativamente menores devido ao fato de que os residentes destas áreas apresentam, em média, rendas mais baixas e frequentemente adotam a reutilização e reciclagem de matérias (WBG, 2012). O mesmo estudo aponta que mais de 50% da população mundial reside em cidades atualmente, sendo que as taxas de urbanização aumentam rapidamente a cada ano. No Brasil, entre os anos de 1940 e 2010 esta taxa aumentou de 31,24% para 84,36% (IBGE, 2014).

Considerando este cenário, a ênfase do presente estudo será na gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU), definidos por Monteiro et al. (2001, p.25) como qualquer “material sólido ou semi-sólido indesejável e que necessita ser removido por ter sido considerado inútil por quem o descarta”. Atualmente são gerados 1,3 bilhões de toneladas de RSU ao ano no mundo (WBG, 2012), sendo o Brasil responsável por 7% deste montante, ou seja, aproximadamente 95 milhões de toneladas ao ano (IBGE, 2008). Como previsão para o futuro, mantidas as práticas atuais, espera-se um incremento no volume mundial para cerca de 2,2 bilhões de toneladas ao ano até 2025, conforme relatório do World Bank Group (2012).

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, somente em 2012, 42% do total de RSU coletados tiveram uma destinação inadequada do ponto de vista ambiental, ou seja, cerca de 23,7 milhões de toneladas de resíduos foram descartados em vazadouros a céu aberto (lixões) ou em aterros controlados (ABRELPE, 2012). De acordo com o pesquisador José Fernando Thomé Jucá, líder do grupo de pesquisa em Geotécnica Ambiental/Grupo de Resíduos Sólidos da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), a destinação inadequada de resíduos é, em parte, consequência da falta de conhecimento acerca de alternativas tecnológicas como, por exemplo, a compostagem dos resíduos orgânicos - alimentos, poeira, sementes, etc. (LONGO, 2013). A Figura 4 apresentada dados dos Estados Unidos, Noruega e Brasil acerca um comparativo das formas de tratamento dos resíduos gerados nos anos de 2000 e 2008.



Figura 4 – Gestão de RSU nos Estados Unidos, Noruega e Brasil



Fonte – adaptado de OECD (2014) e MMA (2012)

A partir das informações apresentadas se observa na Noruega uma redução considerável tanto da geração de RSU – cerca de 16% em relação aos 2,8 milhões de toneladas geradas em 2000 -, quanto da adoção de aterros sanitários para a gestão destes resíduos, paralelamente ao aumento do uso das alternativas de incineração e reciclagem. Nos Estados Unidos observa-se pouca variação entre os anos demonstrados, permanecendo os aterros sanitários como principal opção para a gestão de RSU, com um pequeno crescimento do uso das alternativas de reciclagem e compostagem, bem como do volume total de resíduos gerados pelo país – cerca de 3% em relação aos 220 milhões de toneladas gerados em 2000. Em ambos os países, 100% do volume de RSU destinados à incineração são voltados à geração de energia; o mesmo não pode ser afirmado para o Brasil por falta de informações. O Brasil apresenta uma tendência contrária à da Noruega, com aumento considerável tanto da geração de RSU – cerca de 35% em relação aos 51 milhões de toneladas gerados em 2000 -, quanto da adoção de aterros sanitários para a gestão destes resíduos, paralelamente ao um pequeno aumento do uso reciclagem como alternativa (OECD, 2014; MMA, 2012). Considerou-se como “outros” tipos de tratamento aqueles que se mostraram pouco representativos em termos de adoção ou então aqueles que, apesar da ampla aplicação, não são ambientalmente justificáveis. Um exemplo é o caso dos lixões e aterros controlados que, ao contrário dos aterros sanitários, não possuem sistema de tratamento do chorume<sup>1</sup> e dos gases de efeito estufa (GEE) resultantes da decomposição da matéria orgânica, nem uma estrutura de impermeabilização de base que evite a contaminações do solo e dos lençóis freáticos.

Além da taxa de geração de resíduos o país, outro fator importante a ser considerado é a composição dos RSU, pois é a partir desta que são definidas as formas de tratamento mais adequadas. Esta composição muda conforme a região e é influenciada pelo nível de desenvolvimento dos países, a renda per capita, o grau de industrialização e de urbanização, o clima local, os hábitos da população e as fontes de energia disponíveis. Segundo o relatório What a Waste de 2012, os países com alta renda per capita e taxa de urbanização elevada, como Noruega e Estados Unidos, são os que geram os maiores volumes de resíduos sólidos – em média 3 kg/dia por pessoa - compostos principalmente de materiais inorgânicos, como papel e plástico. Já países com renda per capita média-alta - como o Brasil -, média baixa e

<sup>1</sup> Chorume: líquido escuro com alta carga poluidora, resultante da decomposição da matéria orgânica.

baixa geram os menores volumes de resíduos sólidos – em média 1 kg/dia por pessoa - compostos principalmente de materiais orgânicos (WBG, 2012).

Diante de tal cenário, urge a necessidade de desenvolvimento de medidas preventivas e corretivas relacionadas ao apropriado descarte e tratamento destes resíduos. Neste sentido, um dos tópicos abordados pela Agenda 21, principal documento lançado na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada em 1992 na cidade do Rio de Janeiro (Rio-92), refere-se ao manejo sustentável dos resíduos sólidos, considerando “indispensável uma mudança significativa [do atual] modelo, com a finalidade de reduzir, ao mínimo, a geração de resíduos em todas as fases de ciclo do produto ou serviço” (FARIA, 2012, p.1).

Com vista em adequar-se às diretrizes do referido documento, desde o final da década de 1980 o Brasil vem trabalhando para desenvolver uma política nacional de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos. Após 20 anos de discussões que envolveram as três esferas do governo, especialistas, entidades ambientalistas e de defesa dos consumidores e outras organizações interessadas, em 2 de agosto de 2010 foi aprovada a Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (FARIA, 2012). Dentre outros tópicos, esta lei aborda a Hierarquia de Gestão de Resíduos que deve ser observada de forma a reduzir ao máximo os impactos ambientais através da prevenção e redução, que deve ser associadas a estratégias de geração de valor através da reciclagem e de outros métodos de gestão de resíduos (Ribeiro et al., 2011). Em seu Art. 9º a lei estabelece a seguinte ordem de prioridade: (1º) não geração; (2º) redução; (3º) reutilização; (4º) reciclagem; (5º) tratamento dos resíduos sólidos; e (6º) disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Uma das implicações desta lei é o encerramento da operação dos lixões, porém a solução tradicional de construção de novos aterros apenas posterga a resolução do problema (EPE, 2008). Além disso, há falta de espaço físico para realizar a disposição final adequada do montante diário gerado nas grandes regiões (CARVALHO, 2011) e a evolução pouco significativa da parcela de resíduos destinados a reciclagem (vide Figura 1) levam à busca por outras alternativas. Uma delas é uso de processos térmicos de tratamento dos resíduos, tecnologia que permite, ao mesmo tempo, a redução do volume de resíduos destinados a aterros sanitários e a geração de energia elétrica (EPE, 2008).

### 2.3 GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

O aproveitamento energético de RSU pode ser feito de forma indireta através da reciclagem, ou diretamente através de processamento biológico (compostagem) ou de tratamento térmico (incineração). Ao permitir a substituição de insumos (vidro, plástico, borracha, metais, etc.) e reduzir a demanda por extração de matérias-primas na natureza, a reciclagem se constitui como uma forma ambientalmente eficiente de aproveitamento energético. No caso da compostagem, micro-organismos realizam a fermentação anaeróbica da parcela orgânica dos resíduos, resultando na conversão desta em adubo e na produção de metano, cuja queima permite a geração de energia. Já no tratamento térmico, a energia é gerada através da queima completa dos resíduos (SOUSA; GAIA; RANGEL, 2010; EPE, 2008).

De modo geral considera-se que os processos biológicos oferecem menores riscos ao meio ambiente, porém faz-se necessária uma análise prévia da composição dos RSU para a definição do processo mais adequado (SOUSA; GAIA; RANGEL, 2010; WBG, 2012). Ademais, o aproveitamento energético dos resíduos sólidos é uma fonte geradora de créditos de carbono, uma vez que possibilita a redução das emissões de metano na atmosfera ao mesmo tempo em que possibilita a redução do uso de fontes fósseis para a produção de energia, como o gás natural e o carvão mineral (EPE, 2008)



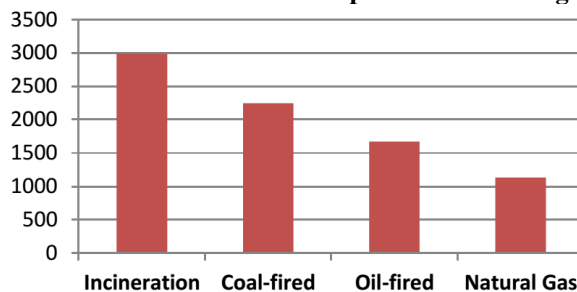
### 2.3.1 Tecnologias Waste-to-Energy (WTE)

Quando os resíduos não podem ser reutilizados ou reciclados devido a restrições técnicas, econômicas ou mesmo ambientais, outros métodos de tratamento e recuperação de valor devem ser considerados (UNEP, 2013). Dentre estas alternativas encontra-se a incineração, também chamada de processo Waste-to-Energy (WTE), tecnologia que realiza o aproveitamento energético através da queima completa dos resíduos (SOUSA; GAIA; RANGEL, 2010; EPE, 2008).

A escolha da alternativa tecnológica mais adequada de tratamento térmico depende de características do resíduo (acondicionamento na origem, forma de coleta, sistema de triagem e classificação), da usina (porte, eficiência, número de módulos, custo das instalações) e do uso final da energia gerada. Existem atualmente diversas alternativas tecnológicas para o tratamento térmico de resíduos, a citar: combustão em leito fluidizado; combustível derivado de resíduo (CDR); gaseificação; pirólise; tecnologia arco de plasma; e combustão em grelha, sendo este último o método mais simples e comumente usado (ENGEBIO; FEAM, 2010). Através destas alternativas é possível reduzir cerca de 90% do volume original de RSU, mantendo-se a possibilidade de recuperação dos metais recicláveis, com a destinação das cinzas para a produção de cimento (EPE, 2008).

Embora o tratamento térmico seja capaz de produzir mais energia elétrica do que o processamento biológico, ele também é responsável pela geração de subprodutos altamente tóxicos, como cinzas compostas por diversos poluentes e GEE – dióxido de carbono, furanos - em níveis maiores do que outras fontes (Figura 6), o que demanda altos investimentos em manutenção e sistemas de controle da poluição (EPE, 2008).

**Figura 6 - Emissões de dióxido de carbono por fontes de energia (lbs / MWh)**



Fonte – United States Environmental Protection Agency (2007 apud GAIA, 2012, p. 2)

Devido a estes e outros aspectos, o tratamento térmico tende a ser rotulado como um processo nocivo ao meio ambiente e à saúde humana, inclusive sendo questionada a sua colocação como fonte renovável de energia, uma vez que os RSU são compostos por materiais derivados de recursos naturais finitos (GAIA, 2012).

Sabe-se que o atual nível de desenvolvimento tecnológico, com “eficientes sistemas de controle de emissão de gases, somados à vigência de legislações com parâmetros rígidos” (ENGEBIO; FEAM, 2010) permitem que a incineração passe a ser uma solução ambientalmente segura e economicamente viável. Nota-se, no entanto, uma realidade distinta daquela que as possibilidades tecnológicas permitem. Segundo o relatório What a Waste (WBG, 2012), em países renda per capita média, como o Brasil, o tratamento térmico é utilizado como alternativa auxiliar para disposição final de RSU, não havendo recuperação de energia durante o processo. Além disso, devido aos custos proibitivos de investimento, operação e manutenção das usinas, muitas vezes a tecnologia utilizada é ultrapassada, sendo realizado pouco ou nenhum monitoramento ambiental.

Segundo a UNEP (2013, p.5), nos países em desenvolvimento – como o Brasil – este método apresenta “a low energy value because of its high moisture content and the prior removal of paper and plastic by waste pickers”, restando apenas resíduos orgânicos e não recicláveis com potencial calorífico baixo, o que reduz o rendimento para geração de energia (ENGEBIO; FEAM, 2010). Existem ainda fatores sociais a serem considerados, pois a coleta informal de lixo é fonte de renda de mais de 2 milhões de catadores no mundo todo, tornando esta atividade “a global business with international markets and extensive supply and transportation networks” (WBG, 2012, p. VII).

Em resumo, muitas barreiras técnicas, informacionais e sociais ainda precisam ser superadas para que a adoção de processos WTE deixe de ser uma medida controversa (EPE, 2008). Com o objetivo de compreender o processo de transferência desta tecnologia ao Brasil, foram avaliados dois casos considerados de sucesso na adoção do tratamento térmico de RSU.

### 3. METODOLOGIA

O presente trabalho é um ensaio analítico sobre a viabilidade de produção de energia no Brasil a partir de usinas de incineração de lixo. Para alcançar os objetivos do artigo foi utilizada a metodologia do estudo de caso. Baseou-se na experiência da Noruega e dos EUA como referencial de aprendizado para o Brasil. Os dados foram coletados em fontes de dados secundários dos sites especializados no Brasil e em banco de dados internacionais como das Organizações das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (ONUDI), Organizações das Nações Unidas (ONU), entre outros.

Como procedimento metodológico, inicialmente foi realizada uma coleta de dados sobre a matriz energética, energias renováveis e alternativas no mundo e no Brasil. Em seguida, os dados foram analisados de forma progressiva em comparação às tecnologias de energias renováveis e alternativas disponíveis no Brasil. Finalmente, foi realizada uma discussão analítica a partir dos resultados do estudo.

### 4. ANÁLISE

Existe atualmente um número considerável de usinas de processamento WTE no mundo, com destaque para Estados Unidos e países da Europa (UNEP, 2013), onde a geração de energia a partir de RSU é uma realidade desde os anos 80 (SOUSA; GAIA; RANGEL, 2010). No caso brasileiro, os primeiros esforços para aproveitamento energético dos resíduos se deram através do Projeto Biogás, coordenado pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater) no mesmo período. O projeto, que consistia em fornecer apoio técnico para a construção de biodigestores em pequenas propriedades agrícolas, teve sua expansão limitada por fatores econômicos e governamentais, tais como a queda do preço do petróleo e a descontinuidade dos programas governamentais de incentivo (SEBRAE, 2014). Estes esforços foram retomados aproximadamente 20 anos depois e, diante da presente oportunidade de transferência tecnológica, incentivada por iniciativas governamentais como o PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, instituído pela Lei nº 10.438/2002 (MME, 2014), serão analisados dois países cujos casos foram considerados de sucesso na adoção do tratamento térmico de RSU, de modo a compreender como pode se dar o processo de transferência desta tecnologia ao Brasil.

#### 4.1 O CASO DA NORUEGA

A Noruega é um país europeu povoado por aproximadamente 4,8 milhões de habitantes e cujo consumo energético é especialmente alto no inverno devido ao frio e à baixa luminosidade durante o dia, fato que justifica a busca por fontes renováveis a despeito de ser um dos 10 maiores exportadores mundiais de petróleo (ZANDONADI, 2011). Aliado a isto, os países europeus realizaram, entre 1995 e 2010, mudanças significativas em modo de tratamento dos resíduos sólidos, com a redução da utilização de aterros e aumento do uso dos processos de tratamento térmico e de compostagem (LONGO, 2013).

Como política de incentivo ao desenvolvimento de fontes alternativas de energia, o governo norueguês criou um fundo destinado especificamente para pesquisas nesta área, almejando ampliar para 73% a parcela de energia renovável na matriz norueguesa até 2020 (ZANDONADI, 2011). Para viabilizar este objetivo, medidas de conscientização e estruturação urbana tornaram a coleta de RSU algo tecnológico. Segundo Canazio (2011), em Oslo, capital do país, a separação dos resíduos começa nos domicílios, onde o lixo é separado em sacolas coloridas que são distribuídas gratuitamente em supermercados e lojas. Cada cor é destinada a um tipo de resíduo, sendo as verdes para orgânicos, as azuis para plásticos e assim por diante. A empresa responsável pela coleta das sacolas utiliza sensores computadorizados para separá-las por cor e encaminhá-las para processamento através de compostagem, reciclagem, incineração, dentre outros. Em Oslo, metade da cidade e a maioria das escolas ali localizada são aquecidas pela queima dos RSU e por existir uma demanda maior que a oferta, muitas vezes os resíduos são importados de países como a Inglaterra, a Suécia e a Irlanda, criando-se um mercado onde os RSU tornaram-se commodities. Um fator que contribuiu para esta “mercantilização do lixo” na Europa foi o estabelecimento de um imposto cobrado sobre os aterros sanitários pelo governo inglês, o que torna mais barata a exportação dos RSU do que a disposição local. (TAGLIABUE, 2013)

#### 4.2 O CASO DOS ESTADOS UNIDOS

Uma análise sobre o caso da produção de energia a partir de incineração de lixo nos EUA permitiu identificar alguns fatores propícios para a consolidação no sistema no País. Segundo *Solid Waste Association of North America - SWANA* (2012), os EUA possuem 87 usinas de incineração em funcionamento. A maioria das usinas foi construída nos últimos 15 anos. Não há projetos de expansão do sistema no País justificado por um lado, devido ao alto custo de investimento inicial e por outro, a falta de vontade de viver próximo à usina de incineração. Enfatiza-se que quanto mais próximo à localização da usina dos destinatários, maior é a eficiência energética. Também existem defensores da ideia de que a usina de incineração desestimula a redução de desperdício das matérias primas por parte das indústrias. Para justificar a importância da usina de incineração nos EUA, a SWANA (2012) apresenta de forma resumida alguns resultados das usinas de incineração em alguns municípios dos EUA. Os benefícios podem ser classificados em ambiental, econômico, financeiro e social. A adoção do sistema de incineração para produção de energia partiu do pressuposto de que o uso de resíduo para energia é uma forma confiável de geração de energia renovável que se tornou como base para uma gestão bem sucedida de resíduos sólidos domésticos e industriais. Reconhece-se que a instalação requer um alto investimento financeiro, mas nos EUA geralmente é financiado pelo governo, por meio de venda de títulos das receitas municipais. As receitas geradas a partir da venda de energia e de metais recuperados após a incineração são utilizadas para pagamento de juros sobre os títulos.

A partir da análise dos principais resultados de das usinas em operação nos EUA, disponibilizados em 2012 pela Solid Association of North American, é possível observar que apesar da forte pressão contra o sistema, os benefícios das usinas em funcionamento não podem ser ignorados, a citar o exemplo da Lancaster County, localizada na Pensilvânia, que

processa mais de 7,5 milhões de toneladas de resíduos, tendo recuperado e reciclado 128.000 toneladas de metais ferrosos e 800 toneladas de metais não ferrosos; e gerado 4,4 bilhões de quilowatts-horas de eletricidade, com uma receita de e US\$ 256 milhões. Tendo em vista a utilidade socioeconômica que energia de resíduos proporciona nos EUA (KAPLAN, et. al. 2009). Além disso, vale ressaltar que os sistemas modernos de geração de energia a partir de resíduos são muito mais eficientes economicamente e ambientalmente. Os sistemas modernos emitem menos gases de efeito estufa na atmosfera e permitem maior aproveitamento de resíduos (SWANA, 2012; COVANTA, 2014). Estes fatores reforçam a importância da presença de usina de incineração para uma sociedade, pois além dos benefícios apontados até então, ela proporciona a segurança energética, gera emprego e permite a redução no preço da energia convencional.

#### 4.3 TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA PARA O BRASIL

O Brasil necessita dar uma destinação adequada aos 95 milhões de toneladas de RSU gerados anualmente ao mesmo tempo em que precisa encontrar uma solução para a crise energética iminente (EPE, 2008). De acordo com Sousa, Gaia e Rangel (2010), através da recuperação de energia elétrica de RSU, o Brasil tem potencial para aumentar em cerca de 15% o total de energia disponível atualmente. Assim observa-se um esforço governamental para estímulo e ao mesmo tempo regulamentação da implementação de processos alternativos de geração de energia, como a Resolução CONAMA nº 316/2002, que dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos (ENGEBIO; FEAM, 2010) e o Projeto de Lei nº 5.721/2013, que propõe a criação de incentivos financeiros para a instalação de usinas WTE e a instituição de um Certificado de Energia do Resíduo (NEVES, 2014).

O processo de tratamento térmico de RSU não possui capacidade suficiente para solucionar, sozinho, o problema energético brasileiro (EPE, 2008). Isso se deve a características particulares do país, como o clima, a cultura e a composição dos resíduos, bem como ao alto investimento exigido para instalação, operação e manutenção das usinas, o que torna pouco competitivo o preço da energia produzida nestas, dificultando a disseminação da tecnologia no país (LILLO, 2013). Esta alternativa, porém, não foi descartada, uma vez que o Plano Nacional de Energia 2030 considera a possibilidade de instalação de até 1.300 MW em usinas WTE nos próximos 25 anos (EPE, 2008), tanto que atualmente estão em andamento projetos de usinas WTE em alguns estados brasileiros, como São Paulo e Rio de Janeiro.

##### 4.3.1 Tecnologia WTE em São Paulo

Está em andamento um projeto para implantação da primeira usina WTE em escala comercial do Brasil, a ser finalizado em início de 2016 e que será localizada na cidade de São Bernardo do Campo (CARVALHO, 2011). O município apresenta 54% da extensão territorial localizada em áreas elevada densidade populacional e/ou de proteção aos mananciais, o que dificulta a implantação de aterros no local. Deste modo, os cerca de 700 mil toneladas diárias de RSU geradas são destinadas para o aterro Lara, na cidade de Mauá.

Com um investimento de aproximadamente R\$ 600 milhões e negociações feitas através de parceria público-privada, a cidade vai adotar o Sistema de Processamento e Aproveitamento de Resíduos e Unidade de Recuperação Energética (SPAR-URE), que deve ser instalado em uma área recuperada do antigo Lixão do Alvarenga, fechado há mais de 10 anos. O SPAR-URE tem previsão de capacidade para suprir com energia elétrica uma cidade com 300 mil habitantes (MARTIN, 2012).

Além da unidade de São Bernardo do Campo, está prevista a construção de mais uma usina de processamento WTE que deverá atender as cidades de Mauá e Santo André (PROIETI, 2013).

#### 4.3.2 Tecnologia WTE no Rio de Janeiro

Está em funcionamento no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) um protótipo com tecnologia nacional de processamento WTE de resíduos sólidos (LILLO, 2013). Localizada na Ilha do Fundão, a Usina Verde foi projetada e desenvolvida por parceiros e professores da UFRJ, possuindo capacidade para processar até 8 toneladas de resíduos ao dia, oriundos de duas empresas – a Caixa Econômica Federal e a Estação de Transbordo e Tratamento do Caju - que pagam pelo serviço (PIO, 2013).

O processo se mostrou autossustentável em termos econômicos, uma vez que há sobra de energia que pode ser vendida. Já no aspecto social, destaca-se que dos cerca de 50 funcionários da usina, muitos são ex-catadores que trabalhavam em lixões e que agora adquiriram condições melhores de trabalho. Por fim, ao envolver diversas etapas no processo, dentre elas a separação dos recicláveis, a incineração dos não recicláveis e a separação dos resíduos do forno, cerca de 90% dos RSU que chegam à usina são reaproveitados (PIO, 2013).

### 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÃO

Verificou-se que existe de fato uma acentuada disparidade tecnológica entre os países classificados, segundo o relatório What a Waste (WBG, 2012), como possuidores de alta renda per capita – Noruega e Estados Unidos – em comparação aos países com renda per capita mediana, como o Brasil, o que influencia diretamente na extensão de aplicação das diferentes alternativas de tratamento de resíduos sólidos urbanos.

Além dos fatores tecnológicos e econômicos, diferenças em fatores climáticos e culturais acabam por resultar em RSU com composições diferentes e que são determinantes das técnicas de tratamento de resíduos. Em Oslo, por exemplo, onde a temperatura média anual não passa dos 20°C, o processo de decomposição dos resíduos orgânicos é mais lento, o tratamento térmico mostra-se uma opção atrativa para a recuperação de energia. Já no Brasil, onde o clima é tropical, a decomposição destes resíduos ocorre de forma acelerada, favorecendo o uso de processos biológicos para a extração de biogás e tornando as técnicas de processamento WTE menos atrativas economicamente. Aspectos geográficos também influenciam, uma vez que a extensão de terra disponível irá determinar a possibilidade de implantação de aterros sanitários no local. Segundo estudo realizado por ENGEBIO e FEAM (2010), os atuais custos de disposição em aterros tendem a se elevar com o tempo devido à redução do número de locais disponíveis para a implantação de aterros, o que poderá tornar a tecnologia WTE uma alternativa economicamente mais atraente que o aterro sanitário.

Outro aspecto importante a ser considerado é o nível de envolvimento governamental através de regulamentação, fiscalização e elaboração de políticas de incentivo a tecnologias de recuperação de energia a partir de RSU. A participação ativa, ou não, dos governos na implantação e acompanhamento destes processos pode ser um fator decisivo para o sucesso, seja do ponto de vista técnico e ambiental, ou em termos de aceitação popular.

A adoção do tratamento térmico no Brasil permanece um assunto controverso. Se de um lado existem tecnologias de ponta que garantem a neutralização dos subprodutos tóxicos do processo de incineração, por outro lado o custo destas tecnologias é impeditivo, resultando no uso de equipamentos defasados e na geração de um passivo ambiental com conseqüências piores do que as causadas pela disposição em aterros sanitários.



Conclui-se assim que a gestão de resíduos é, em geral, um assunto complexo que demanda avaliação multidisciplinar de modo a ser compreendida de forma plena. Com relação à possibilidade de transferência de tecnologia de processamento WTE para o Brasil, verificou-se o caso de sucesso da Usina Verde, planta piloto sediada na UFRJ. Neste ponto entende-se que a barreira tecnológica foi em parte superada, pois o conhecimento foi assimilado e transformado em tecnologia nacional, podendo agora ser expandido e disseminado.

## 6. LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES DE ESTUDO

A principal limitação deste estudo apóia-se na ausência de informações detalhadas acerca da gestão de resíduos sólidos no Brasil. Os relatórios existentes atualmente, como o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil da ABRELPE, e a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, do IBGE, fornecem dados bastante superficiais sobre o assunto. Da mesma forma, documentos de órgão internacionais, como o relatório What a Waste do WBG não possuem informações suficientemente detalhadas, o que dificultou a realização de análises mais aprofundadas sobre o tema.

Como sugestão para estudos futuros, propõe-se o aprofundamento do estudo do caso brasileiro através do mapeamento dos projetos de implantação de usinas WTE no país.

## 7. REFERÊNCIAS

- ABNT. **Norma Brasileira ABNT NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**. 2 ed. 2004. Disponível em: <[www.aslaa.com.br/legislacoes/NBR%20n%2010004-2004.pdf](http://www.aslaa.com.br/legislacoes/NBR%20n%2010004-2004.pdf)>. Acesso em: 24 mai .2014
- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil: 2012**. Disponível em: <[www.abrelpe.org.br/panorama\\_edicoes.cfm](http://www.abrelpe.org.br/panorama_edicoes.cfm)>. Acesso em: 24 mai. 2014
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Energia Eólica. 2003**. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia\\_eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf)>. Acesso em: 04 de jul. 2014.
- BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Disponível em: <[www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 10 jul. 2014
- CANAZIO, A. Noruega: case de energia sustentável. **Agência Canal Energia**: nov. 2011. Disponível em: <<http://www.gasnet.com.br/conteudo/13091>>. Acesso em: 13 jul. 2014
- CARVALHO, E. SP vai licitar primeira termelétrica movida a lixo do Brasil. **Globo Natureza**: jun. 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2011/06/sp-vai-licitar-primeira-termeletrica-movida-lixo-do-brasil.html>>. Acesso em: 11 jul. 2014
- CNI. Conselho Nacional das Indústrias. **O Mercado de Energia Eólica no Brasil e no Mundo**. 2008. Disponível em: <[http://www.senado.leg.br/comissoes/cma/ap/AP20080619\\_EnergiaEolica\\_CNI.pdf](http://www.senado.leg.br/comissoes/cma/ap/AP20080619_EnergiaEolica_CNI.pdf)>. Acesso em: 04 de jul. 2014.
- COVANTA. **Understand How Energy-from-Waste Works**. 2014. Disponível em: <<http://www.covanta.com/sustainable-solutions/energy-from-waste.aspx>>. Acesso em: 12 jul. 2014.
- ENGEPIO; FEAM. **Estado da arte do tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica**. FEAM: Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/fean/relatorio%201%20%20estado%20da%20arte%20do%20tratamento%20termico.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2014
- EPE. Empresa de pesquisa energética. Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. **Série Recursos Energéticos: Nota Técnica DEN 06/08**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20081208\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20081208_1.pdf)>. Acesso em: 12 jul. 2014



- FARIA, C.R.S.M. A Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Boletim do legislativo nº15**, 2012. Disponível em: <[www2.senado.leg.br/bdsf/handle/id/242672](http://www2.senado.leg.br/bdsf/handle/id/242672)>. Acesso em: 11 jul. 2014
- GAIA. *Global Alliance for Incinerator. Alternatives. Incinerators: Myths vs. Facts about “Waste to Energy”*. Fevereiro 2012 . Disponível em: <<http://www.gaialibrary.org/content/incinerators-myths-vs-facts-about-%E2%80%9Cwaste-energy%E2%80%9D>>. Acesso em: 13 jul. 2014
- IBGE. **Séries históricas e estatísticas: taxa de urbanização no Brasil**. Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP122>>. Acesso em: 09 jul. 2014
- IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf)>. Acesso em: 13 jul. 2014
- INTERNACIONAL RIVERS. **Hidrelétricas no Brasil**. 2014. Disponível em: <<http://www.internationalrivers.org/pt-br/campaigns/hidrel%C3%A9tricas-no-brasil>>. Acesso em: 04 de jul. 2014.
- IPEA. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. 2011. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/versao\\_preliminar\\_pnrs\\_wm.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/versao_preliminar_pnrs_wm.pdf)>. Acesso em: 04 de jul. 2014.
- KAPLAN, P. O; et al. *Is It Better To Burn or Bury Waste for Clean Electricity Generation?* Environ. Sci. Technol. 2009, 43, 1711–1717.
- LILLO, V. Lixo que gera energia. **Ambiente Legal**, 2013. Disponível em: <<http://www.ambientelegal.com.br/lixo-que-gera-energia/>>. Acesso em: 13 jul. 2014
- LONGO, V. 194 Maracanãs lotados de lixo no lugar errado. **Jornal Correio**: salvador, out. 2013. Disponível em: <[http://www.premioabrelpe.org.br/impressos\\_vencedores\\_2013/194\\_Maracanas.pdf](http://www.premioabrelpe.org.br/impressos_vencedores_2013/194_Maracanas.pdf)>. Acesso em: 09 jul. 2014
- MAPFRE. **A Importância das Fontes Alternativas e Renováveis na Evolução da Matriz Elétrica Brasileira**. 2009. Disponível em: <[http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/artigos/GESEL\\_-\\_Estudo\\_Mapfre\\_-\\_260809\[1\].pdf](http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/artigos/GESEL_-_Estudo_Mapfre_-_260809[1].pdf)>. Acesso em: 02 de jul. 2014.
- MARTIN, A.C. Usina vai tratar e gerar energia com o lixo de SBC. **Prefeitura de São Bernardo do Campo**: mar. 2012 Disponível em: <[http://www.saobernardo.sp.gov.br/comuns/noticia\\_completa\\_print.asp?ref=9043](http://www.saobernardo.sp.gov.br/comuns/noticia_completa_print.asp?ref=9043)>. Acesso em: 13 jul. 2014
- MMA. Ministério do meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: 2012. Disponível em: <[www.sinir.gov.br/web/guest/plano-nacional-de-residuos-solidos](http://www.sinir.gov.br/web/guest/plano-nacional-de-residuos-solidos)>. Acesso em: 10 jul. 2014
- MME. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional**. 2012. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados\\_Pre\\_BEN\\_2012.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf)>. Acesso em: 02 de jul. 2014.
- MME. Ministério de Minas e Energia. **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA)**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa>>. Acesso em: 13 jul. 2014
- MME. Ministério de Minas e Energia. **Balanco de Energético Nacional**. 2013. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2013\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2013_Web.pdf)>. Acesso em: 08 de jul. 2014.
- MONTEIRO, J.H.P.; et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acesso em: 09 jul. 2014
- NEVES, M. Projeto cria incentivo à geração de energia a partir de resíduos. **Agência Câmara Notícias**: jan. 2014. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/MEIO-AMBIENTE/461219-PROJETO-CRIA-INCENTIVO-A-GERACAO-DE-ENERGIA-A-PARTIR-DE-RESIDUOS.html>>. Acesso em: 13 jul. 2014
- OECD. *Organisation for Economic Co-operation and Development. OECD Statistics: Municipal waste, Generation and Treatment*. Disponível em: <<http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=TIS>>. Acesso em: 08 jul. 2014

- PIO, D. Usina Verde é modelo no tratamento de resíduos sólidos. **O Globo**: jun. 2013. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/rio/bairros/usina-verde-modelo-no-tratamento-de-residuos-solidos-8555423>>. Acesso em: 13 jul. 2014
- PROIETI, C. Região terá mais uma usina de incineração de resíduos sólidos. **Diário do Grande ABC**: mai. 2013. Disponível em: <<http://www.dgabc.com.br/Noticia/453497/regiao-tera-mais-uma-usina-de-incineracao-de-residuos-solidos?referencia=buscas-lista>>. Acesso em: 13 jul. 2014
- RIBEIRO, P.J.T.; et al. **Plano Nacional de Gestão de Resíduos 2011-2020**. APA: Lisboa, 2011. Disponível em: <[www.apambiente.pt/\\_zdata/Politic/Residuos/Planeamento/Projeto\\_PNGR\\_2011\\_2020.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/Politic/Residuos/Planeamento/Projeto_PNGR_2011_2020.pdf)>. Acesso em: 10 jul. 2014
- SEBRAE. **Cartilha: uso de resíduos e dejetos como fonte de energia renovável**. Disponível em: <[http://bis.sebrae.com.br/GestorRepositorio/ARQUIVOS\\_CHRONUS/bds/bds.nsf/1444A5CABEE102E383257428004FDF09/\\$File/NT0003768A.pdf](http://bis.sebrae.com.br/GestorRepositorio/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/1444A5CABEE102E383257428004FDF09/$File/NT0003768A.pdf)>. Acesso em: 13 jul. 2014
- SOUSA, R.S.M; GAIA D.S; RANGEL, L.S. Geração de energia através do lixo. **Bolsista de Valor**: revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, v.1, pp. 377-381, 2010. Disponível em: <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/view/1849/1027>>. Acesso em: 12 jul. 2014
- SWANA. *The Solid Waste Association of North America. Waste-to-Energy Facilities Provide Significant Economic Benefits -White Paper*. 2012. Disponível em: <[http://swana.org/portals/Press\\_Releases/Economic\\_Benefits\\_WTE\\_WP.pdf](http://swana.org/portals/Press_Releases/Economic_Benefits_WTE_WP.pdf)>. Acesso em: 12 jul. 2014.
- TAGLIABUE, J. *A City That Turns Garbage Into Energy Copes With a Shortage*. **The New York Times**: abr. 2013. Disponível em: <<http://www.nytimes.com/2013/04/30/world/europe/oslo-cope-with-shortage-of-garbage-it-turns-into-energy.html?smid=pl-share>>. Acesso em: 13 jul. 2014
- UNEP. *United Nations Environment Programme. Municipal solid waste: Is it garbage or gold?* Out. 2013. Disponível em: <[http://www.unep.org/pdf/UNEP\\_GEAS\\_OCT\\_2013.pdf](http://www.unep.org/pdf/UNEP_GEAS_OCT_2013.pdf)>. Acesso em: 12 jul. 2014
- WBG. *World Bank Group. What a Waste: A global review of solid waste management*. In: HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P (orgs.). **Urban Development Series**, n. 15, mar. 2012. Disponível em: <[documents.worldbank.org/curated/en/2012/03/16537275/waste-global-review-solid-waste-management](http://documents.worldbank.org/curated/en/2012/03/16537275/waste-global-review-solid-waste-management)>. Acesso em: 24 mai 2014
- ZANDONADI, D. País do petróleo, Noruega investe em energia limpa. **A Gazeta**: dez. 2011. Disponível em: <<http://gazetaonline.globo.com/>>. Acesso em: 13 jul. 2014