

UTILIZAÇÃO DA PIRÓLISE PARA O TRATAMENTO DE RESÍDUOS NO BRASIL

Guilherme Ricchini Leme¹ (guilhermeleme@alunos.utfpr.edu.br)

Dangela Maria Fernandes¹ (dangelam@utfpr.edu.br)

Carla Limberger Lopes¹ (carlalopes@utfpr.edu.br)

1 UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – CAMPUS MEDIANEIRA

RESUMO

No Brasil, majoritariamente, os resíduos gerados são destinados a aterros sanitários ou recebem algum tipo de disposição ambientalmente incorreta. Este estudo baseia-se em revisão bibliográfica e documental acerca da tomada de decisões sobre resíduos num cenário internacional e o modo como o gerenciamento é conduzido no Brasil. Com foco na técnica da pirólise, realiza-se uma análise sobre o potencial uso dos resíduos como biomassa de alimentação de reatores pirolíticos e as vantagens do processo. Conclui-se que os resíduos da imensa matriz agrícola brasileira possuem potencial para alimentação de reatores de pirólise e à obtenção de produtos de interesses comerciais. Outra conclusão é o potencial de tratamento dos resíduos com a utilização da técnica, tanto para resíduos urbanos quanto aos de serviço de saúde. Também, evidencia-se a necessidade de desenvolvimento de uma gestão nacional a par das tendências mundiais, bem como a urgência do uso de técnicas corretas para a disposição dos resíduos.

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos; Pirólise; Reaproveitamento energético.

USE OF PYROLYSIS FOR WASTE TREATMENT IN BRAZIL

ABSTRACT

In Brazil, most of the waste generated is either landfilled or doomed to an environmentally incorrect disposal. This study is based on a bibliographical and documentary review on the international decision-making scenario about waste and the way the management is conducted in Brazil. With focus on the pyrolysis technique, it performs an analysis on the potential use of the residues as feeding biomass for pyrolytic reactors and the advantages of this process. It is concluded that the residues generated by the large Brazilian agricultural matrix have potential for feeding pyrolysis reactors and obtaining products of commercial interests. Another conclusion is the potential of treatment with the use of this technique, both for municipal and medical waste. Also, it is pointed the need for development a national management along with global trends, as well as an urgency to use correct techniques for waste disposals.

Keywords: Municipal solid waste; Pyrolysis; Energy recovery.

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios de municipalidades em questões ambientais está no gerenciamento dos resíduos dos processos de consumo da sociedade. A prosperidade econômica, comumente, é acompanhada do aumento do consumo.

O manejo inadequado desses resíduos contribui significativamente para a degradação da qualidade ambiental, poluindo o solo, a água, o ar e oferecendo riscos à saúde pública. Em 2015, a disposição inadequada de resíduos no Brasil aumentou, com quase 30 milhões de toneladas dispostas em lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações (ABRELPE, 2015).

Nessa circunstância, torna-se urgente a busca de alternativas para a minimização de lixo urbano no mundo e, sobretudo, sem afetar as pessoas e o meio ambiente (MORAES *et al.*, 2015).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, outorgada em 2010, reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com

vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010, Art. 4º).

Nesse contexto, diversos estudos são realizados para aperfeiçoar a gestão dos resíduos sólidos. Novas políticas, novas formas de tratamento, a remolduração dos processos produtivos, podem-se destacar como exemplos dessa necessidade de desenvolvimento.

O reaproveitamento energético dos resíduos é intrínseco à minimização da poluição. Técnicas como a incineração, a biodigestão e a pirólise, diminuem as necessidades de aterramento dos resíduos e seu encargo ambiental.

Com balanço de energia positivo, a pirólise é explorada para além do tratamento, e há expectativas da criação de um mercado inovador de produtos comerciais extraídos dos resíduos, como o carvão vegetal e o bio-óleo.

Nações desenvolvidas como os EUA (MOHAN *et al.*, 2006) e Alemanha (IEA, 2012) dependem em mais de 50% de combustíveis estrangeiros. Mudar as fontes de energia das economias mais poderosas do mundo é vital para estimular e impulsionar pesquisas sobre matrizes energéticas sustentáveis. A pirólise dos resíduos orgânicos é uma alternativa para diminuir a dependência de fontes de energia estrangeiras e um incentivo para mover o consumo mundial de combustíveis fósseis para energias renováveis.

No caso do Brasil, estimular a ciência de novas tecnologias de tratamento e reaproveitamento dos resíduos é imprescindível à constituição de uma base sólida e eficaz para fazer frente aos danos ambientais provenientes da má gestão dos resíduos sólidos.

2. OBJETIVO

O processo de pirólise apresenta uma série de vantagens, como a capacidade de estabilização das características físico-químicas e biológicas dos resíduos, bem como o potencial de geração de energia na forma de combustíveis, contudo não é amplamente utilizado. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é apresentar o estado da arte da utilização de pirólise aplicada ao tratamento de resíduos sólidos urbanos, resíduos agroindustriais e de serviço de saúde.

3. METODOLOGIA

O estudo, de caráter exploratório, caracteriza-se como a revisão bibliográfica e documental, avaliando o contexto brasileiro como estudo de caso e confrontando-o com o cenário de nações desenvolvidas.

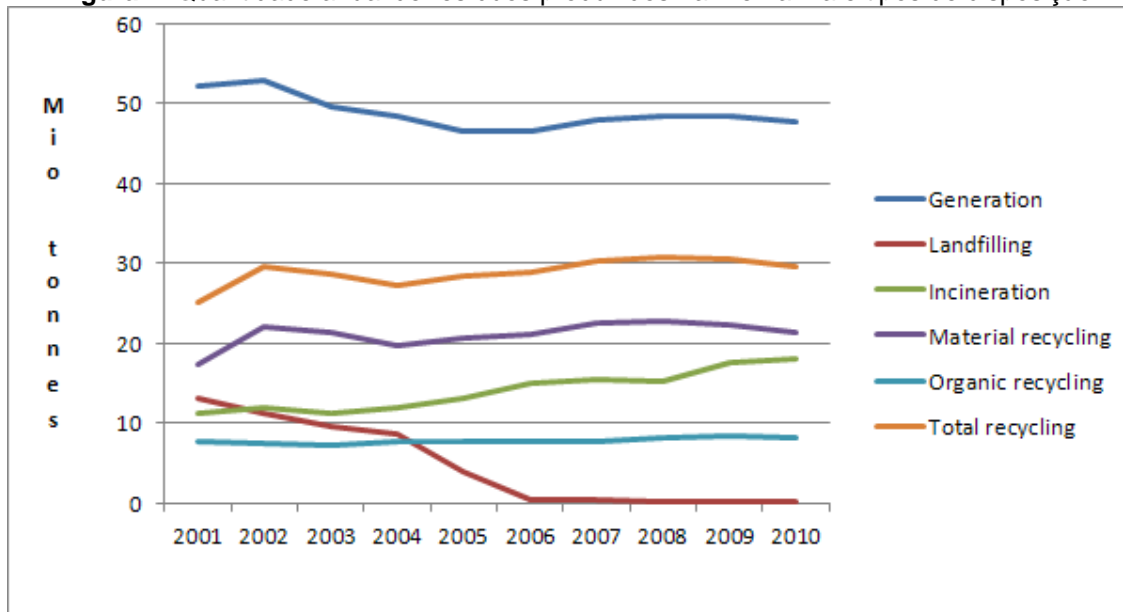
4. PANORAMA GERAL DO TRATAMENTO DOS RESÍDUOS

No mundo, a estimativa é de que aproximadamente 1,3 bilhões de toneladas de resíduos sejam geradas anualmente. Até 2025, espera-se que este número seja dobrado (WORLD BANK, 2012). De acordo com o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2015), em 2015 a geração de RSU foi de aproximadamente 79,9 milhões de toneladas. Dessa quantidade, 58,7% dos resíduos coletados recebeu destinação final adequada. O restante, 29.973.482 toneladas de resíduos, recebeu outras destinações, como aterros controlados e lixões.

Na União Europeia, a Diretriz para aterros sanitários de 26 de abril de 1999 estabelece que os Estados-membros devem estabelecer uma estratégia nacional para a implementação da redução dos resíduos biodegradáveis destinados a aterros sanitários, por meio de reciclagem, compostagem, produção de biogás ou recuperação de materiais / energia (1999/31/EC).

Na figura 1, observam-se os dados anuais da Alemanha para a quantidade de resíduos gerados (em milhões de toneladas) e o tratamento recebido (aterro sanitário, incineração, reciclagem, reciclagem orgânica).

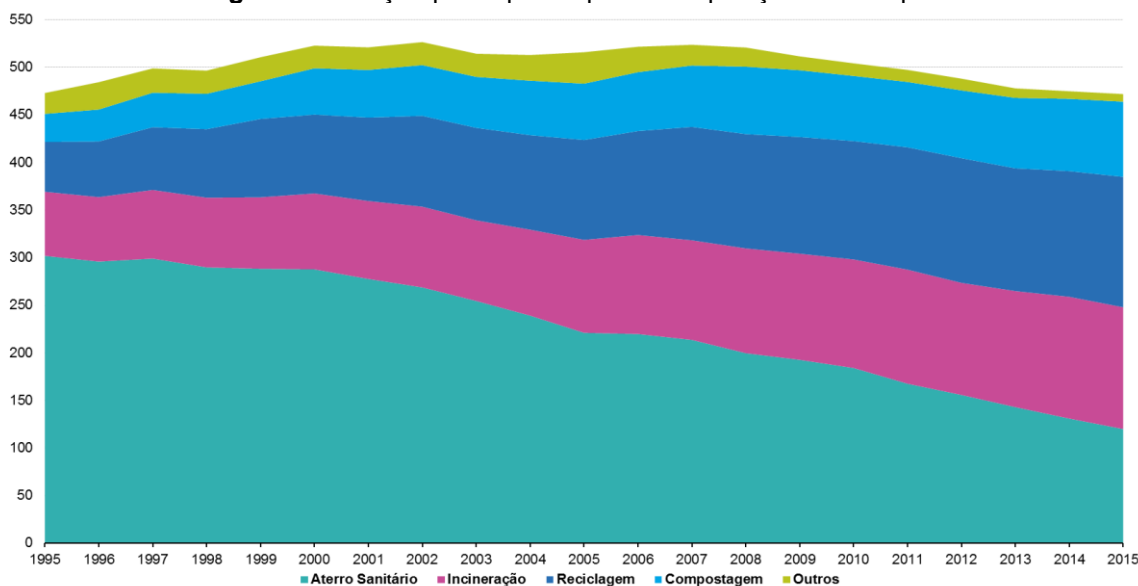
Figura 1. Quantidade anual de resíduos produzidos na Alemanha e tipos de disposição



Fonte: Municipal waste management in Germany, 2013, p. 12.

Verificou-se que no período de 2006-2009, zero toneladas de resíduos biodegradáveis foram destinadas aos aterros, o que indica o comprometimento do país com a legislação aplicável. Na figura 2, apresenta-se os dados da União Europeia para a quantidade de resíduos per capita anualmente gerada (em quilogramas) e os tipos de tratamentos realizados.

Figura 2. Geração per capita e tipos de disposição na Europa



Fonte: EUROSTAT, 2017.

A diminuição da quantidade de aterros sanitários está relacionada com a utilização de outros métodos de tratamento dos resíduos. Nos incineradores de resíduos municipais, as cinzas de fundo são aproximadamente 10% em volume e aproximadamente 20 a 30% do peso de entrada de resíduos (EC, 2006). Esta redução possibilita um acréscimo na vida útil dos aterros. No mundo, a recuperação energética de resíduos intensificou-se à medida que políticas de gerenciamento surgiram e estabeleceram normas para o tratamento correto dos resíduos produzidos.

No Brasil, a Lei 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelece em seu artigo sétimo o “incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético” (BRASIL, 2010, Art. 7º).

No começo deste século, o Brasil possuía 11 grandes incineradoras (MENEZES, 2000). Porém, a incineração no País é utilizada majoritariamente no tratamento de resíduos de serviços de saúde. Em 2015, aproximadamente 110 milhões de toneladas de RSS foram tratadas com incineração (ABRELPE, 2015). O custo para o tratamento dos gases resultantes da incineração dos resíduos, indispensável para minimizar os impactos ambientais, e a necessidade de combustíveis suplementares – para a iniciação do processo da queima e eventuais necessidades de manter o incinerador em funcionamento (KREITH; TCHOBANOGLIOUS, 1994) são fatores econômicos limitantes, principalmente em países em desenvolvimento.

5. APLICAÇÃO DA PIRÓLISE NO TRATAMENTO DOS RESÍDUOS

O tratamento pela degradação termoquímica dos resíduos – pirólise – possui potencial para reduzir o volume final do material utilizado na alimentação do processo em até 90%, com base no peso da tonelada úmida (DOWNIE, 2010), além de apresentar produtos de interesse comercial.

A pirólise remonta, pelo menos, aos tempos egípcios antigos, quando o alcatrão para calafetar barcos e certos agentes de embalsamação foram feitos por pirólise (MOHAN *et al.*, 2006).

A pirólise é um processo de conversão térmica que implica na ruptura de ligações carbono-carbono e na formação de ligações carbono-oxigênio. Mais apropriadamente, a pirólise é um processo de oxidação-redução na qual uma parte da biomassa é reduzida a carbono, entretanto, a outra parte, é oxidada e hidrolisada dando origem a fenóis, carboidratos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos. Esses produtos primários combinam-se entre si para dar moléculas mais complexas tais como ésteres, produtos poliméricos, etc (ROCHA *et al.*, 2004).

Por caracterizar-se pela degradação térmica em uma atmosfera com deficiência de oxigênio, a pirólise minimiza as emissões de poluentes formados em atmosfera oxidante, tais como as dioxinas e os furanos (FILHO *et al.*, 2014) constituindo uma grande vantagem em relação aos incineradores.

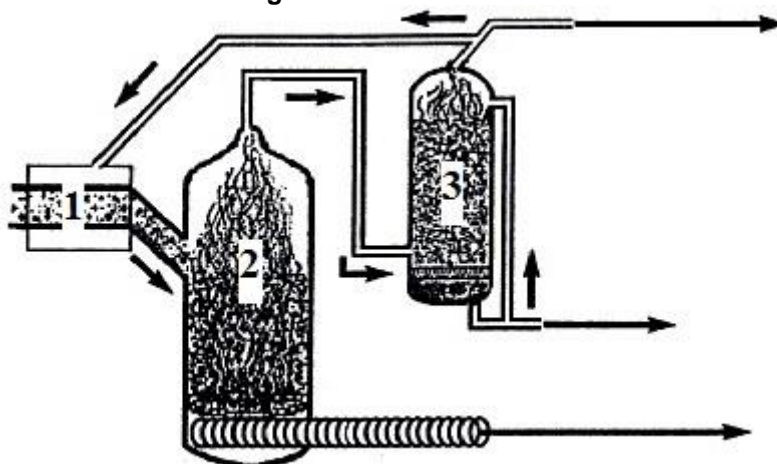
A matéria orgânica alimentada ao reator pirolítico, segundo (BARROS, 2012) pode ser convertida em diversos sub-produtos [gases (H_2 , CH_4 , CO); combustíveis líquidos (HC, álcoois, bio-óleo); resíduos sólidos (escória, char)], permitindo recuperação de energia com balanço energético sempre positivo.

A fração sólida consiste principalmente em cinzas e carbono (dependendo da temperatura empregada no processo), que podem ser utilizados como combustível na fabricação de carvão ativado por meio de sua posterior ativação com CO_2 e/ou vapor de água. A fração gasosa é também combustível (LORA; VENTURINI, 2012).

A utilização do bio-óleo produzido pela pirólise, ao contrário dos combustíveis fósseis, não produz CO_2 / SO_x (MOHAN *et al.*, 2006), gases conhecidos por seu agravamento do efeito estufa.

Na figura 3, apresenta-se uma das configurações utilizadas para um reator pirolítico.

Figura 3. Reator Pirolítico



Fonte: LYNN & JUDY OSBURN, 1993 (adaptado).

De acordo com a figura 3, pode-se entender o funcionamento do reator pirolítico na seguinte sequência: Inicialmente, (1) a biomassa alimentada ao reator passa por uma etapa de secagem. Após, (2) a biomassa é submetida a temperaturas que variam de 400 a 1000°C (LORA *et al.*, 2012). O carvão vegetal (char) é retirado pela parte inferior do reator. Os gases volatilizados provenientes da pirólise passam por um condensador (3). O bio-óleo condensado é removido ao final do processo e os gases não condensados podem ser captados pela parte superior, ou utilizados novamente no processo de secagem da biomassa.

A biomassa para alimentação do reator pirolítico pode ser obtida direta ou indiretamente dos setores industriais, comerciais, domésticos ou agrícolas da sociedade (VASSILEV *et al.*, 2016), conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1. Estimativa de resíduos gerados para diferentes culturas

| Culturas | Produção total colhida (t) | Fator residual (%) | Resíduos (t) |
|-----------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|
| Soja | 57.345.382 | 73 | 41.862.129 |
| Milho | 50.745.996 | 58 | 29.432.678 |
| Cana-de-açúcar ¹ | 671.394.957 | 30 | 201.418.487 |
| Arroz | 12.651.774 | 20 | 2.530.355 |
| Trigo | 5.055.525 | 60 | 3.033.315 |
| Coco-da-baía | 964.303 | 60 | 405.009 |
| Total | 798.157.937 | - | 278.681.973 |

1 - bagaço e torta de filtro.

Fonte: IPEA 2012 (adaptado).

Observa-se na tabela 1 a estimativa, em toneladas, para o total de resíduos gerados pelo cultivo de certas culturas da agricultura brasileira.

Na tabela 2, adaptada de (RAVEENDRAN *et al.*, 1996), mostram-se os resultados da pirólise obtidos experimentalmente para diferentes biomassas durante análise termogravimétrica.

Tabela 2. Produtos da pirólise de resíduos de diferentes culturas

| Biomassa | Voláteis (%) | Carvão vegetal (%) | Temperatura à máxima velocidade (°C) | Temperatura no ponto de involução (°C) |
|--------------------------|--------------|--------------------|--------------------------------------|--|
| Bagaço de cana-de-açúcar | 79,7 | 20,3 | 404 | 415 |
| Fibra de coco | 69,85 | 30,15 | 399 | 400 |
| Casca de coco | 70,73 | 29,27 | 342 | 405 |
| Sabugo de milho | 73,5 | 26,5 | 330 | 380 |
| Pé de milho | 70,93 | 29,07 | 361 | 380 |
| Casca de milho | 70,1 | 29,9 | 380 | 390 |
| Casca de arroz | 70,01 | 29,99 | 393 | 390 |
| Palha de arroz | 74,67 | 25,33 | 378 | 400 |
| Palha de trigo | 72,77 | 27,23 | 331 | 390 |

Fonte: RAVEENDRAN *et al.*, 1996 (adaptado)

Os voláteis são uma mistura de componentes químicos com diferentes características. Uma parcela se condensa dando origem ao alcatrão (bio-óleo). A outra, mais leve, continua em forma de gás.

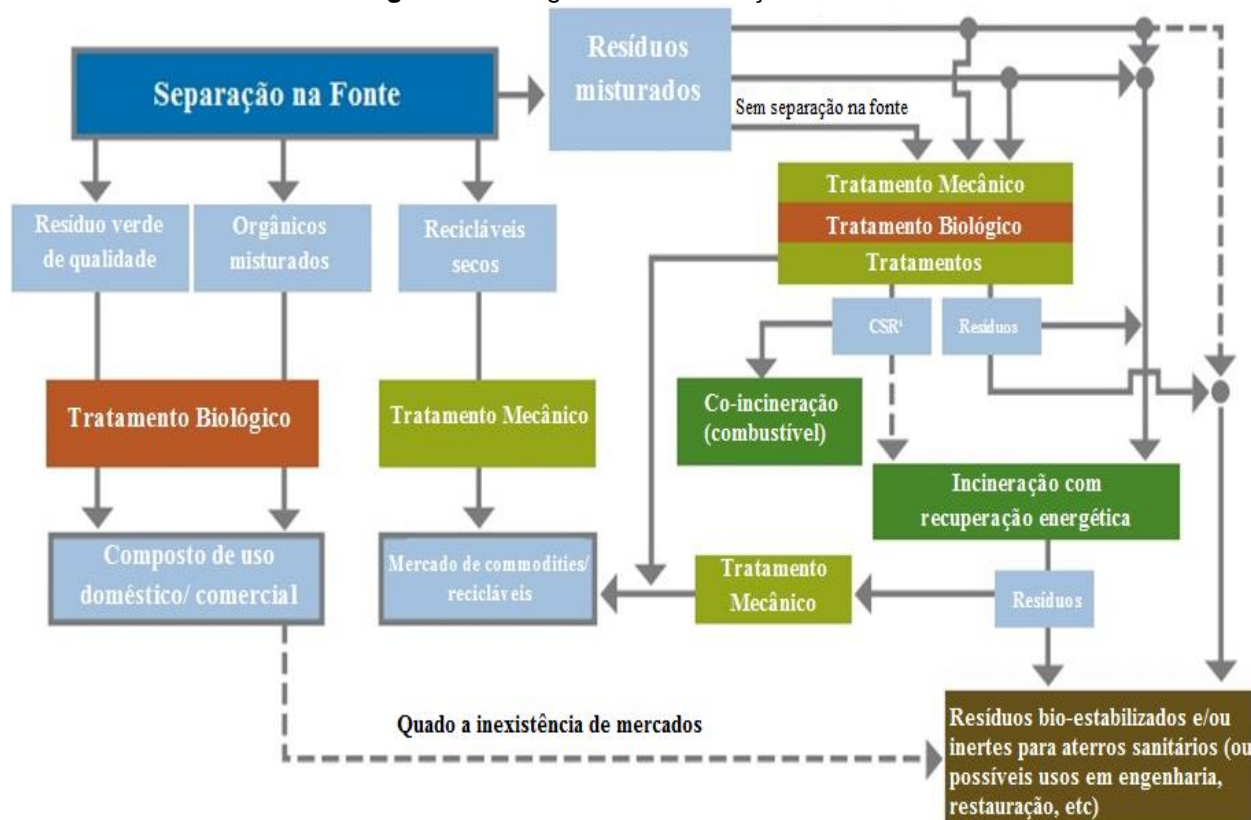
Os desafios para a utilização da pirólise no tratamento dos resíduos, porém, são diversos. Ao contrário dos resíduos agrícolas apresentados nas tabelas 1 e 2, os RSU possuem umidade e composição variada, o que interfere nos produtos da pirólise. Pode-se destacar como fatores que afetam os produtos da técnica: a umidade dos resíduos. Tipicamente, a umidade dos RSU está entre 40-60% (SOARES, 2011). Recomenda-se umidade abaixo de 25% (LORA *et al.*, 2012. *apud* MIDILLI *et al.*, 2001 e DOGRU *et al.*, 2002); a heterogeneidade dos resíduos, pois as características próprias da biomassa alimentada ao reator são variáveis importantes no desempenho do processo (LORA *et al.*, 2012). Também, o tipo de reator utilizado e o método de pirólise escolhida influenciam diretamente seu rendimento.

Em experimento realizado por SANNER (1970), uma tonelada de RSU com aproximadamente 43% de umidade foi submetida à pirólise com temperatura de 900°C. Constataram-se os seguintes produtos: 154 kg de *char*, 1,9 litros de alcatrão, 114 litros de *liquor* (o autor diferencia alcatrão e condensados com maior teor de álcool), 11,3 kg de sulfato de amônio e 502 m³ de gás. O mesmo procedimento foi repetido, porém com grande parte do RSU constituído de filmes plásticos (sacolas plásticas, etc), com mesma umidade. Os resultados foram: 173 kg de resíduo sólido; 5,3 litros de alcatrão; 2,3 litros de óleo leve; 368 litros de *liquor*; 14,3 kg de sulfato de amônio e 511,3 m³ de gás.

Em 2012, de acordo com dados do Diagnóstico de Resíduos do IPEA (2012), foram gerados aproximadamente 34 milhões de toneladas de resíduos orgânicos no Brasil. Desse montante, apenas 1,6% recebeu pré-tratamento (compostagem) e o restante foi aterrado.

Na Irlanda, a Agência de Proteção Ambiental (EPA, 2009), estabelece os critérios para a destinação dos resíduos, como o pré-tratamento, que antecede a disposição em aterros sanitários e privilegia técnicas de reutilização e reaproveitamento dos resíduos (figura 4).

Figura 4. Fluxograma de destinação de resíduos



1. Combustível sólido recuperado.

Fonte: EPA, 2009 (adaptado).

A incineração apresentada como rota no tratamento evidencia o interesse desenvolvido na Europa pelo potencial energético dos resíduos.

A pirólise, de acordo com a literatura a respeito e modelos pilotos, é uma técnica capaz de ser introduzida em modelos semelhantes como rota de tratamento alternativa para o reaproveitamento energético e comercial dos resíduos.

Com relação aos resíduos de serviços de saúde (RSS), a pirólise também é estudada como forma de tratamento para a estabilização das características químicas e biológicas dos materiais.

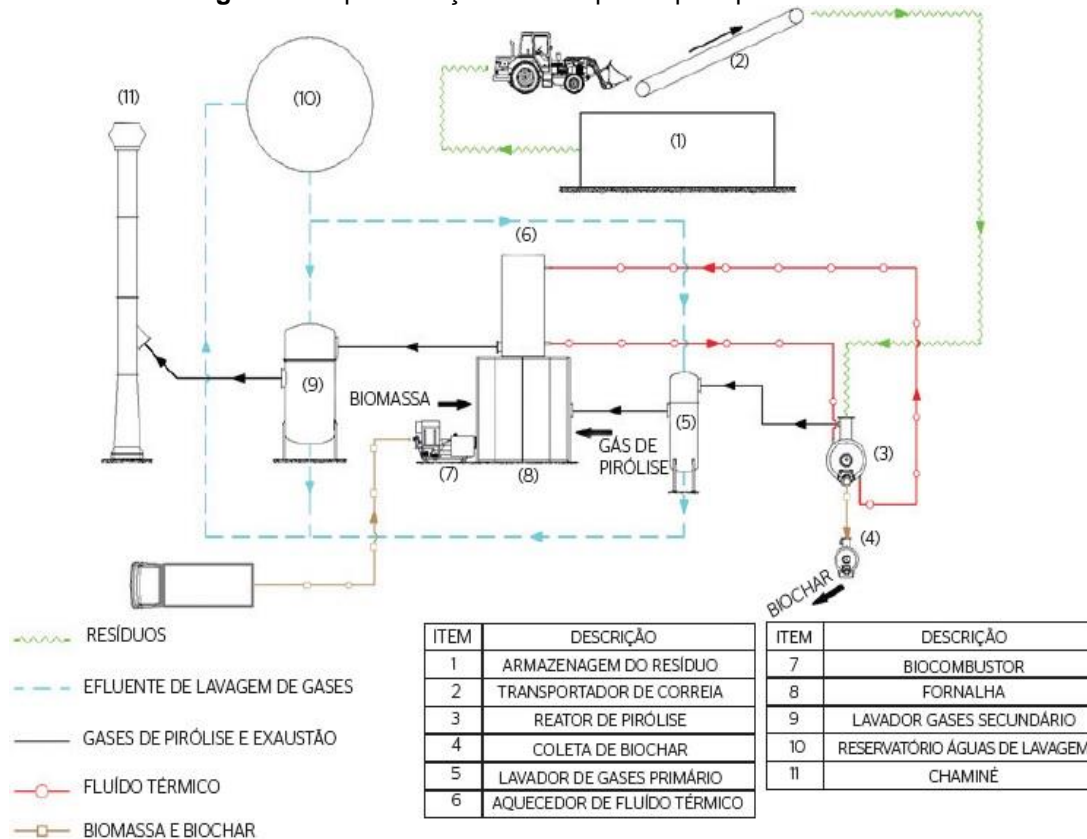
A planta apresentada na figura 5 foi desenvolvida para uma avaliação técnica e ambiental da utilização da pirólise no tratamento dos RSS no município de Belo Horizonte. Com capacidade para 3.000L de RSS por ciclo, o reator foi implantado e operado no período de janeiro a março de 2012. O processo avaliado apresentou uma série de vantagens verificadas no gerenciamento de resíduos, tais como redução de massa entre 46,75% e 58,77%, utilização de combustível auxiliar de baixo custo (biomassa) na planta de tratamento, eliminação de lixiviados na disposição final, além da possibilidade de encaminhamento do produto carbonizado para a disposição em um aterro sanitário convencional (FILHO *et al.*, 2014).

Economicamente, para (ROGERS; BRAMMER, 2011), parece ser possível produzir bio-óleo a partir da pirólise para venda com preço similar aos óleos minerais.

Ainda de acordo com (ROGERS *et al.*, 2011), essa possibilidade é acentuada se forem usadas plantas relativamente grandes, e se for possível a venda do bio-óleo a um preço inferior ao óleo-combustível destilado, mas acima do preço do óleo-combustível residual. Em janeiro de 2017, o preço ideal estaria situado entre US\$ 1,119 e US\$ 2,632 (EIA, 2017).

Em contrapartida, grande parte do custo de operação da planta será composto pela compra de biomassa e eletricidade (ROGERS *et al.*, 2011). O mercado do carvão vegetal também gera interesses comerciais. O Brasil é o maior produtor mundial desde o século XIX de carvão vegetal (REZENDE; SANTOS, 2010). De acordo com (MOTA, 2013), este contribui diretamente para o parque siderúrgico, que tem como produto final o Aço, Ferro-Gusa e Ferro Liga.

Figura 5. Representação de uma planta para pirólise de RSS



Fonte: FILHO *et al.*, 2014

No Brasil, a Vallourec & Mannesmann Tubes do Brasil (V&MT) desenvolveu um forno retangular de alta capacidade para a fabricação de carvão vegetal a partir de madeira e recuperação de alcatrão. O forno aumenta o rendimento da carbonização, a utilização de produtos derivados, a produtividade, a qualidade do carvão vegetal, além de melhorar as condições ambientais e ocupacionais. A reciclagem dos produtos (gases) é usada como fonte de energia durante a carbonização e para iniciar novos ciclos de carbonização (GÓMEZ, 2017).

Em seu estudo, (ROGERS *et al.*, 2011) conclui que os custos para a operação da pirólise são menores nos países onde existem fontes de biomassa de baixo custo.

5. CONCLUSÃO

No mundo, medidas são tomadas para que os resíduos sejam reaproveitados ao máximo. Em contrapartida, o Brasil deixa de tratar grande parte dos resíduos gerados. O desafio de sobrepor barreiras impostas pela dimensão territorial, por políticas predominantemente brandas, pela dificuldade de acesso às comunidades rarefeitas e pela falta de um quadro político de incentivo, dificultam a gestão dos resíduos no País.

A análise realizada nesta pesquisa comparou modelos internacionais de gestão de resíduos com a realidade brasileira, e evidenciou a necessidade de adequação do Brasil.

A pirólise é extensamente estudada como forma de agregar valor energético e comercial aos resíduos, como também pelo seu potencial de tratamento para a estabilização químico-biológica e pela possibilidade de considerável redução de volume.

As aplicações da pirólise foram sugeridas ao imenso mercado agrícola brasileiro, aos RSU e aos RSS.

Embasados em trabalhos científicos, os temas que tecem esta pesquisa devem ser aprofundados, cedendo ferramentas importantes no gerenciamento da crescente produção de resíduos no Brasil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

BARROS, Raphael. Elementos de gestão de resíduos sólidos. São Paulo: Tessitura, 2012. 424 p.

BRASIL. Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 20 mar. 2017.

DOWNIE, A. Pacific pyrolysis. Disponível em: <<http://pacificpyrolysis.com/waste.html>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Municipal solid waste – pre-treatment & residuals management an EPA technical guidance document. Disponível em: <<http://www.epa.ie/pubs/advice/waste/municipalwaste/finalguidancedocument.html>>. Acesso em: 21 mar. 2017.

EUROPEAN COMMISSION (EC). Waste incineration. Disponível em: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/wi_bref_0806.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2017.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). Municipal waste management in Germany. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/publications/managing-municipal-solid-waste/germany-municipal-waste-management>>. Acesso em: 23 mar. 2017.

EUROSTAT. Municipal waste treatment by type of treatment. Disponível em: <[http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Municipal_waste_treatment_by_type_of_treatment,_EU-27,\(kg_per_capita\),_1995_-_2015-F2.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Municipal_waste_treatment_by_type_of_treatment,_EU-27,(kg_per_capita),_1995_-_2015-F2.png)>. Acesso em: 20 mar. 2017.

FILHO, A; FERREIRA, A; MELO, G; LANGE, L. Tratamento de resíduos de serviços de saúde pelo processo da pirólise. Revista Engenharia Sanitária Ambiental. V.19, n. 2, p. 187-194, 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2017.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Diagnóstico dos Resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agroindústrias associadas. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Oil and gas security, emergency response of IEA countries. Disponível em: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/germanyoss.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2017.

KREITH, Frank; TCHOBANOGLIOUS, George. A handbook of solid waste management. Nova Iorque: McGRAW-HILL, 1994. 950p.

LORA, Electo; VENTURINI, Osvaldo. Biocombustíveis. V. 1. São Paulo: Editora Interciência, 2012. 1200 p.

MENEZES, A; GERLACH, J; MENEZES, M. Estágio atual da incineração no Brasil. VII Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública. 2000.

MOHAN, D; PITTMAN, C; STEELE, P; Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-Oil: A Critical Review. Revista Energy and Fuels. V.20, p. 848-889, 2006.

MORAES, L; SANTOS, A; FERREIRA, A; RAMOS, D; RIBAS, F; FRANÇA, G; JUNIOR, J; SANTOS, T. Processo de pirólise para decomposição do lixo urbano. Revista Pesquisa e Ação. V.1, p. 130-138, 2015.

MOTA, F. C. M. Análise da cadeia produtiva do carvão vegetal oriundo do *Eucalyptos* sp. No Brasil. Brasília, 169 p., 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília.

OSBURN, L; OSBURN, J. Biomass resources for energy industry. Disponível em: <<https://ratical.org/renewables/biomass.html>>. Acesso em: 19 mar. 2017.

RAVEENDRAN, K; GANESH, A; KHILAR, K. Pyrolysis characteristics of biomass and biomass components. Revista Fuel. V. 75, n. 8, p. 987-998, 1996.

REZENDE, J; SANTOS, A. A cadeia produtiva do carvão vegetal em Minas Gerais: pontos críticos e potencialidades. Viçosa: EPAMIG. Boletim Técnico, 2010.

ROCHA, J; PEREZ, J; CORTEZ, L. Aspectos teóricos e práticos da pirólise da biomassa. Núcleo interdisciplinar de planejamento energético, Universidade Estadual de Campinas NIPE-UNICAMP, 2004.

ROGERS, J; BRAMMER, J. Estimation of the production cost of fast pyrolysis bio-oil. Revista Biomass and Energy. V. 36, p. 208-217, 2012.

SANNER, W. Conversion of municipal and industrial refuse into useful materials by pyrolysis. Washington U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines, 1970.

SOARES, E. L. Estudo da caracterização gravimétrica e poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 98p., 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

UNITED STATES ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). Oil prices. Disponível em: <<https://www.eia.gov/>>. Acesso em: 01/04/2017.

VASSILEV, S; BAXTER, D; ANDERSEN, L; VASSILEVA, C; MORGAN, T. An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. Revista Fuel. V. 94, p. 1-33, 2011.

WORLD BANK. What a waste: a global review of solid waste management. Disponível em:
<http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/What_a_Waste2012_Final.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2017.