



MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DA GERAÇÃO DE ENERGIA POR RSU PARA AS CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS BRASILEIRO

Luciano Leite de Sousa (*), Marcos Aurélio Wipprich

*UFSC- Universidade Federal de Santa Catarina; Ember Lion/Biocal Burntech; luciano.engenhariabrasil@gmail.com

RESUMO

Tecnologias de tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são largamente difundidas pelo mundo, a China e a Europa possuem em suas matrizes energéticas a recuperação de energia térmica por resíduos. O Brasil ainda é incipiente quando ao tratamento térmico, por inúmeros fatores, que vão desde as características culturais de descarte às políticas públicas de incentivo ao desenvolvimento tecnológico. Nesse contexto este trabalho visa mapear as possibilidades de adaptação de tecnologias que atualmente são funcionais para os países desenvolvidos e que podem, mediante compatibilização, serem implantadas para as características dos resíduos brasileiros. Este trabalho teve como base uma pesquisa na literatura e catálogos técnicos sobre os diferentes modelos tecnológicos de unidades de tratamento térmico, assim como da caracterização dos resíduos dos principais centros urbanos do país. Após análise comparativa dos dados analisados elencamos as tecnologias adaptáveis, suas particularidades em relação ao cenário brasileiro. Com os resultados alcançados desejamos contribuir com o fomento de informações técnicas e desenvolvimento científico do setor de tratamento térmico de RSU.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo Sólido Urbano, Tratamento Térmico, Geração de Energia, Energia por resíduos.

ABSTRACT

Technologies for the treatment of Urban Solid Waste (MSW) are widespread throughout the world, China and Europe have in their energy matrixes the recovery of thermal energy by solid waste and sludge. Brazil is still in its premature when it comes to heat treatment, due to numerous factors ranging from the cultural characteristics of disposal to public policies to encourage technological development. In this context, this work aims to map the possibilities of adapting technologies that are currently functional for developed countries and that, through compatibility, can be implemented for the characteristics of Brazilian waste. This work was based on a search in the literature and technical catalogs about the different technological models of heat treatment units as well as the characterization of waste, after comparative analysis of the analyzed data we list the adaptive technologies, their particularities in relation to the Brazilian scenario. With the results achieved, we wish to contribute to the promotion of technical information and scientific development in the sector of Waste to Energy.

KEYWORDS: Urban Solid Waste, Heat Treatment, Energy Generation, Waste to Energy.

INTRODUÇÃO

Desde o início da formação de centros urbanos para os problemas enfrentados com os resíduos, sejam eles sólidos ou líquidos, são aplicadas paliativas, o despejo em efluentes, a queima e a deposição em lixões foram largamente aplicadas no decorrer da história. Mas atualmente com a sociedade em que vivemos com uma alta capacidade de geração de resíduos e estes com características novas, como plásticos, eletrônicos e materiais compósitos. Que causam um impacto inédito na natureza e que pode perdurar por séculos, novas soluções assumem cada vez mais um papel de destaque.

O tratamento dos resíduos podem envolver processos físicos, com a alteração da forma do material para reaproveitamento; processos químicos, onde são alteradas ou revertidas a condições iniciais do material; biológicas, em que um agente de decomposição biológico que consome a matéria orgânica e ou mineral transformando-a em gás, adubo ou material inerte (BERTICELLI *et al*, 2016).

Os hábitos de descarte da América Latina estão entre os mais diversos, pelas características de consumo, cultura e poder de compra. São cerca de 354 mil toneladas de RSU por dia (ONU, 2019). O Brasil por suas dimensões continentais e de padrões de consumo próprios, assume um papel importante por ser um principal produtor de resíduos. Há várias iniciativas sendo tomadas no âmbito de desenvolvimento tecnológico no seguimento de tratamento térmico de RSU no Brasil.

No Brasil em 2010 foi publicada a PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos) com um conjunto robusto de ações voltadas em prol de soluções para o gerenciamento integrado dos resíduos sólidos, de forma a considerar as esferas políticas econômica, ambiental, social e tempo. Tendo com a premissa o desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010). Com estas ações voltadas a eliminação dos lixões e propostas de desenvolvimento de tecnologias que auxiliariam no alcance desta meta.



No resíduo brasileiro há um grande potencial de reaproveitamento, os mais relevantes são a compostagem para geração de fertilizantes, já que no Brasil os resíduos orgânicos domiciliares diferentemente do que ocorre em países Europeus não vão para o sistema de esgotamento e sim junto com os resíduos sólidos; Triagem de recicláveis de forma mecanizada e ou manual, esta faz a separação do que é comercialmente aproveitável do que é rejeito para a indústria de reciclagem, neste sentido esbarramos em uma característica cultural do brasileiro que é a não separação do resíduo orgânico do restante dos resíduos, o que gera a contaminação de grande parcela dos resíduos; Biodigestão, esta pode ser realizada em galpões próprios para o processo ou em aterros tradicionais, por meio de canalização que recupera os gases combustíveis gerados pelo processo de decomposição da matéria orgânica; e em um braço particular temos as tecnologias de tratamento térmico, as que aproveitam o rejeito quando não há mais viabilidade de reinserir na linha produtiva (BERTICELLI *et al*, 2016).

O beneficiamento térmico dos resíduos sólidos e líquidos é uma alternativa recente, com os movimentos ambientais o conceito de sustentabilidade e de recursos finitos em paralelo com o aumento significativo do consumo e descarte, a tomada de decisão de empresas e instituições governamentais em prol do beneficiamento térmico de resíduos tomou um novo rumo, países Europeus e Asiáticos a décadas aproveitam termicamente os resíduos que não são economicamente viáveis de serem reaproveitáveis. Usinas de incineração, gaseificação e pirólise que geram energia são cada vez mais comuns pelo mundo.

Os processos de beneficiamento térmico podem ser utilizados como redutores de volume de resíduos, separação, geração de energia seja térmica, química ou mecânica. Estes processos podem ser rápidos ou lentos, de alta ou baixa temperatura. Os Equipamentos no geral possuem alto custo agregado e necessitam de um alto grau de maturidade tecnológica, pois falhas podem causar enormes impactos financeiros e ambientais.

Os resíduos sólidos de zonas tropicais como o Brasil possuem umidade próxima de 60% o que gera um impacto direto potencial calorífico (EAP, 2014), esse teor ainda varia de acordo com a época do ano, já que parte do RSU está sujeito a chuva e intemperes. Com isso a eficiência de determinados modelos de tratamento térmico é diretamente afetada, e também exclui ou condiciona determinados modelos utilizados no resto do mundo.

Os Níveis de Prontidão Tecnológica (TRL) é uma ferramenta amplamente difundida como ferramenta para análise da maturidade tecnológica, a Figura 1 apresenta a esquematização da distribuição dos níveis tendo em vista os estados da arte do projeto, e sua aplicabilidade. Os projetos TRL01 são aqueles que ainda estão em estágios conceituais e ainda não possuem validação de seus processos, no TRL04 ensaios já estão definidos e em processo de validação dos conceitos inicialmente definidos, no TRL6 já temos um projeto piloto em escala, os processos inicialmente validados em laboratório são testados em campo. No TRL9 o produto já está no mercado e passou pelas fases evolutivas de teste em operação real e otimização por parâmetros de reentrada, encontrando-se na etapa de inovação.

Figura 1. Esquematização dos níveis de maturidade TRL. Fonte: ESA, 2013 - pag.12



O processo de avaliação TRL está presente em empresas que realizam projetos e que necessitam de alta confiabilidade, como a aeroespacial e indústria eletrônica, a aplicação dessa ferramenta a outros setores dinâmicos como o de tecnologias de tratamento térmico RSU se torna altamente relevante.

OBJETIVO

Com o movimento atual na esfera governamental para eliminação dos lixões e o foco em destinação correta, tecnologias já plenamente desenvolvidas nos países desenvolvidos se tornam possibilidades no nosso mercado de tratamento de resíduos, no entanto, estas tecnologias estão validadas para as características dos RSU europeu e asiático, e pelo fato do Brasil ser um país em desenvolvimento, com clima tropical e características culturais de descarte de resíduos bem particulares, necessita-se de estudos que deem suporte à implantação de tecnologia de recuperação energética. Assim este trabalho tem por objetivo apresentar um mapeamento das correntes tecnológicas atuais que estão em uso no setor de geração de energia a partir da RSU em processos térmicos e investigar sua compatibilização com as características do RSU brasileiro.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada para elaboração deste trabalho foi do tipo exploratória, a qual se buscou maiores informações, familiarização com o tempo, relações entre os diversos aspectos do problema (GIL, 1991) fundamentada por uma pesquisa bibliográfica na literatura pertinente e em manuais técnicos, também foram realizadas consultas técnicas profissionais da área de geração de energia por RSU.

Para auxiliar na elaboração deste trabalho foi adaptado os procedimentos da *Quality Gate System* (QGS) propostos por SOUSA *et al* (2011). Então, para atingir o objetivo de estudo foram seguidos cronologicamente os seguintes passos:

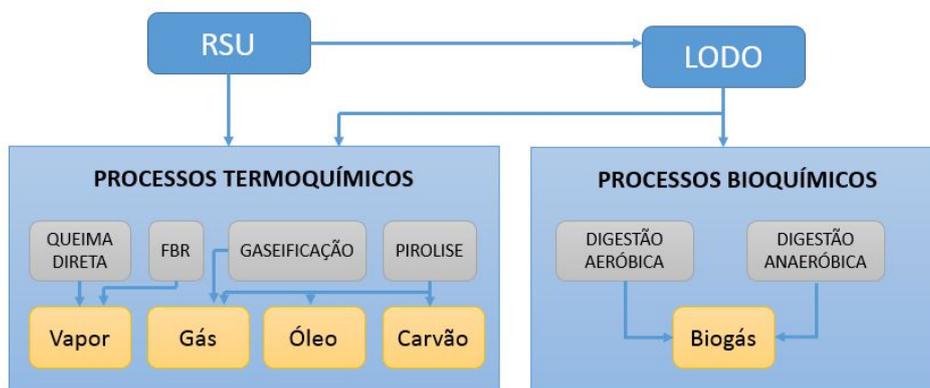
- Definição da Necessidade/Demanda Inicial (hipótese);
- Pesquisa informacional: coleta de dados;
- Montagem da Matriz de prospectiva;
- Análise do potencial de geração por tipo por região;
- Avaliação de viabilidade e compatibilização técnica.

De mão das informações coletadas, tabelamos de forma a elencar as principais vantagens e desvantagens, características de maturidade tecnológica e porte ótimo de cada corrente tecnológica, após foi realizado uma análise características térmicas do Resíduo Brasileiro. A partir desses dados correlaciona-se as diferenças de regimes de eficiência para as correntes tecnológicas de geração térmica por RSU.

DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Para efeito comparativo dos modelos de tratamento térmico foram selecionados projetos que, primeiramente possuíssem informações completas para análise e que fossem representativos das correntes tecnológicas abordadas. Os modelos foram os de: Queima Direta, que é muito comum na Europa, representado por uma planta portuguesa (FURTADO, 2014); pelo modelo de decomposição térmica em leito fluidizado de tecnologia suíça (RASCHKA, 2011); decomposição térmica por câmara de pirolise, na face um projeto brasileiro (KÜHL *et al*, 2015); e a Gaseificação ELB® de projeto nacional (FERNANDES, 2019). A vertente da tecnologia de geração por aterro controlado ou biodigestão, que por sua complexidade e diferenças com o grupo de incineradores e gaseificadores (Figura 2), optou-se pela não abordagem desta neste trabalho.

Figura 2 Rotas tecnológicas de conversão de RSU. Fonte: EPE, 2007. (Adaptado)



Em nosso estudo foram encontradas limitações na compatibilização das tecnologias, a de pirólise, só de se demonstra viável tecnicamente em projetos de pequena escala, menos de 30 T/dia. Além de utilizar sistema de aquecimento auxiliar que geram perda de energia na geração da gaseificação.

A tecnologia de queima direta demonstra aplicação em uma faixa maior recepção de resíduos acima das 200 T/dia, o que amplia custos de implantação, tanto na construção base da planta quando no sistema de filtragem dos gases. Além disso temos a restrição legal em alguns estados brasileiros ao processo de “incineração”. Assim esta tecnologia não se apresenta como totalmente viável para implantação no Brasil.

A tecnologia de Gaseificação ELB, como apresentado por Fernandes (2019), também possui fator restritivo a dimensão de equipamento, sendo viável economicamente para cidades ou regiões metropolitanas que não superem os 100 mil habitantes, o que engloba cerca de 90 % das cidades brasileiras, outro fator limitante dessa tecnologia é que o material a



ser gaseificado deve possuir PCI superior a 1800 kcal/kg, assim resíduos orgânicos com alto teor de umidade são excluídos da faixa de viabilidade do equipamento. O material com esse poder calorífico atualmente é comercializado como CDR, e são usados em larga escala no processo de fabricação de cimento.

O leito fluidizado é um sistema complexo, que possui entre suas limitações a dimensão e alto investimento inicial, para fabricação dos sistemas de filtragem de gases e Reator. Por seu processo de decomposição térmica ser abaixo dos 800°C não se configura como incineração. A utilização o poder calorífico na faixa dos 600 a 2000 kcal/kg amplia o espectro de viabilidade, mas pelo alto custo se baliza a centros urbanos com mais de 100 mil habitantes.

Com os dados de cada sistema foi elaborada a matriz comparativa (Tabela 01).

Tabela 01 – Matriz comparativa de tecnologias. Fonte: Autores

<i>Tecnologia</i>	<i>Maturidade</i>	<i>Porte</i>	<i>PCI Kcal/kg</i>	<i>Resíduos/rejeitos</i>
Queima Direta	TRL9	> 200 T/dia	>2500	Cinzas + gases de combustão
Leito Fluidizado	TRL9	> 100 T/dia	<2000	Cinzas + gases de combustão
Câmara de Pirolise	TR4	< 30 T/dia	-	Carvão+ gases de combustão
Gaseificação ELB	TR6	< 100 T/dia	>1800	Cinzas + gases de combustão

Quando analisamos o nível de maturidade das empresas, temos a queima direta e o leito fluidizado como as mais evoluídas, já que a adaptação de sua composição básica para compatibilização é mínima, então a maturidade do que já é utilizado no continente Europeu pode ser aplicada a uma implantação nacional. A variável principal para essas duas tecnologias é o PCI, quando tratamos das tecnologias de gaseificação ELB e Câmara de Pirólise, estas ainda são incipientes a nível de configuração com as características do alto teor parcela orgânica dos resíduos brasileiros e dependem do PCI, teor de umidade, composição gravimétrica além de sistemas separados integrados para o processo de geração de energia.

A caracterização do RSU Brasileiro foi feita uma análise dos principais editais públicos sobre RSU, onde foram catalogadas as informações de gravimetria das regiões metropolitanas de Curitiba, São Paulo, Recife e São Luís, para a partir de tal de montar o cenário representativo dos resíduos brasileiros. As principais variáveis que definem a qualidade do material são o PCI (Poder Calorífico Inicial), Composição Gravimétrica, potencial de recuperação por tratamento de triagem, com a compilação desses dados foi elaborada a Tabela 02.

Tabela 02- Matriz descritiva da composição do RSU Brasileiro Fonte: Autores

MATERIAL	GRAVIMETRIA	PCI (kcal/kg)	RECICLABILIDADE
Papel celulose	15,0%	3200	Médio
Papelão	4,6%	3200	Alto
Plástico filme	13,0%	6900	Baixíssimo
Plástico rígido	7,3%	6900	Alto
Metais ferrosos	0,8%	0	Altíssimo
Alumínio	0,5%	0	Alto
Vidro	2,6%	0	Médio
Tetra pak	1,3%	1200	Médio
Lixo eletrônico	1,3%	0	Baixo
Orgânicos mistos	14,1%	4800	Baixíssimo
Orgânicos	39,6%	950	Médio

O RSU característico possui PCI médio de 3100 Kcal/kg, o qual possui alto potencial para geração de CDR e para usinas de incineração, mas quando consideramos a triagem e uma eficiente coleta seletiva, partimos para um cenário em que o PCI se reduz aos 1900 kcal/kg, o teor de umidade reduz ainda mais esse PCI nos períodos chuvosos.



Materiais metálicos, eletrônicos e minerais não contribuem para o PCI, os metálicos possuem alto valor agregado e os metros de separação em unidades térmicas são bastante eficientes pelo alto ponto de fusão destes elementos, já os minerais são considerados inertes e seu descarte no meio ambiente não gera impacto significativo ambiental.

CONCLUSÃO

Com este trabalho concluímos que o RSU brasileiro possui diferenças significativas ao RSU dos países Europeus, o que se exige um redimensionamento das correntes tecnológicas, o PCI médio dos resíduos do Brasil se tornam em caso de não tratamento atrativo para queima direta e gaseificação, mas diante metas nacionais de reciclagem o cenário se torna mais propício ao baixo PCI, e quanto trata-se de projetos retornos de investimento entre 10 e 20 anos, as decisões têm que ser baseadas em tendências. Outro fator é a legislação brasileira que também restringe certas linhas tecnológicas de soluções, mesmo as quais são comuns no resto do mundo. Diante do exposto temos que as a tecnologia de gaseificação EBL e a de Leito Fluidizado são as mais compatíveis e complementares para o Brasil. Assim, este trabalho não pretende ser definitivo e esgotar o assunto, que é extremamente vasto e em constante processo evolutivo, mas sim pretende-se contribuir para uma avaliação estruturada sobre as opções de mercado. Para trabalhos futuros se propõe a elaboração de balanços de massa e financeiros para as plantas estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Berticelli, R.; Pandolfo, A.; Korf, E. P. **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos: Perspectiva e Desafios**. Revista. Gestão e Sustentabilidade Ambiental, v. 5, n. 2, p. 711-744, ed.out.2016. Florianópolis, 2016.
2. BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 2010.
3. Empresa de Pesquisa em Energética (EPE). Nota Técnica DEA 18/14. **Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Rio de Janeiro, 2014.
4. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Plano Nacional de Energia 2030. Rio de Janeiro: EPE, 2007. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/PNE/Forms/empreendimento.aspx>>. Acesso em: 12 fev. 2020.
5. European Space Agency (ESA), Escala TRL/MRL baseada na referência primária ISO/FDIS 16290:2013 (E) Space systems – **Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment**. **International Organization for Standardization**. Switzerland, 2013.
6. Fernandes, A. S. **Geração de Energia Elétrica com RSU -WEG MOTOR: Waste to Energy**, 2019. Portal Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <https://www.weg.net/institucional/BR/en/solutions/waste-to-energy> Acesso em: 17 de jan. 2020.
7. Furtado, S.G., **Análise do sistema de tratamento de efluentes gasosos de uma central de valorização térmica**. Dissertação de Mestrado, ISEL. Lisboa, 2014.
8. Gil, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
9. Kühl, R.M.; Resende Neto; P.C.; Brasileiro; B.C.; Rocha, B. R. P.; Sá, J.A.S.; Muniz, R.N.; **Aplicação de Tecnologia de Tratamento de Resíduos Sólidos para Geração de Energia Elétrica em Sistema Isolados na Amazônia: Estudo de Caso em Município na Ilha do Marajó, PA**. Artigo apresentado no congresso. XI CLAGTEE, São Paulo. 2015.
10. Organização das Nações Unidas (ONU). **Organic Waste Management in Latin America: Challenges and Advantages of the Main Treatment Options and Trends**. 2017. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/onu-meio-ambiente-ingles/>>. Acesso em 21 fev. 2020
11. RASCHKA ENGINEERING LTD, **Fluidized Bed Incinerator FBI**, Liestal, 2011, Disponível em: <http://www.raschka-engineering.com/Environment.asp?ID=13> Acesso: 17 de Jan. 2020.
12. Sousa, L.L. Batista, R.C. Amorim JR. W.F. Maribondo, J.F, **Conceptual Project of a Machine to Defiber Coconut Separating the Fiber of the Substratum**, Conference: 21st Brazilian Congress of Mechanical Engineering (COBEM), Natal, 2011.