



DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FBR DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA PARA RSU DA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS

Luciano Leite de Sousa (*), Marcos Aurélio Wipprich

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

RESUMO

O Brasil é um país em desenvolvimento, com uma economia e cultura de descarte únicas. Os resíduos sólidos brasileiros além de possuírem características diversas, não possuem um plano estratégico bem estruturado para seu tratamento e destinação final. Tecnologias de tratamento térmico já tradicionais nos países desenvolvidos estão surgindo no Brasil em projetos especiais diante das diferenças entre as composições dos resíduos brasileiros. Assim este trabalho tem por objetivo apresentar o dimensionamento de uma unidade de tratamento de decomposição térmica por pirólise rápida com a tecnologia de Reator de Leito Fluidizado (FBR) para o Resíduo Sólido Urbano (RSU) da cidade de Florianópolis. Para alcançar os objetivos desse estudo foi necessário seguir uma sequência de passos predefinidos e cronologicamente, que englobaram o mapeamento do setor, caracterização dos materiais, compatibilização do equipamento e avaliação de viabilidade econômica. O dimensionamento de um sistema FBR proposto para Florianópolis, demonstra-se atrativo na avaliação de viabilidade econômica e tecnológica. Este trabalho toma mais importância por servir de modelo para outras zonas metropolitanas do país, alavancadas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

PALAVRAS-CHAVE: Reator de Leito Fluidizado, Resíduo Sólido Urbano, Dimensionamento.

ABSTRACT

Brazil is a developing country, with a unique economy and disposal culture. Brazilian waste has special characteristics, does not have a well-defined strategic plan for its treatment and final destination. Heat treatment technologies already traditional in developed countries are emerging in Brazil in special projects in view of the differences between the compositions of Brazilian waste. Therefore, this work aims to dimension a thermal treatment unit by rapid pyrolysis process using Fluidized Bed Reactor (FBR) technology for urban solid waste (MSW) for the city of Florianópolis. To achieve the objectives of this study, it was necessary to follow a sequence of standard and chronological steps, which includes the sector mapping, the characterization of the materials, the compatibility of the equipment and the evaluation of the economic viability. The dimensioning of a FBR system proposed for Florianópolis, proves to be attractive in the evaluation of economic and technological feasibility. This work becomes more important because it serves as a model for other metropolitan areas of the Brazil, leveraged by the National Solid Waste Policy (PNRS).

KEY WORDS: Fluidized Bed Reactor, Urban Solid Waste, Rapid Pyrolysis, Dimensioning.

INTRODUÇÃO

Desde 2010 com a publicação da PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos), há a movimentação dos municípios brasileiros em prol da sustentabilidade no sentido das boas práticas de destinação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) das diretrizes propostas pela PNRS. Os grandes núcleos urbanos que por seu porte estão em evidência, e ainda mais pelo montante de recurso sujeitos a suspensão em caso de não cumprimento do programa.

Segundo a ABRELPE (2019) nos últimos anos há uma progressão na quantidade de RSU produzido no Brasil, chegando a um total de 380 toneladas por habitante em 2018. Dos quais 59,6% são destinados a aterros sanitários e os demais em locais inadequados. Cerca de 3 mil municípios têm como local de destinação lixões e aterros controlados e que não possuem as condições básicas para contingenciar com segurança ambiental e social os resíduos.

A região sul e sudeste por concentrarem a maior parte da população e possuírem um alto grau de desenvolvimento estão à frente em ações para gerências para destinação adequada para o RSU. A capital do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, pela autarquia COMCAP (Companhia de Melhoramentos da Capital) por meio de diretrizes está em busca de cumprir as metas definidas pela PNRS. O Programa “Lixo Zero” visa reduzir 90% dos resíduos secos enviados aos aterros sanitários até 2030 (Quadro 01). Esta é uma meta audaciosa e exige a prospecção de tecnologias e compatibilizações. Essa não é uma realidade exclusiva da cidade de Florianópolis, os demais centros urbanos do Brasil também passam por este mesmo obstáculo.

Quadro 01 – Metas do plano Municipal Integrado de Saneamento Básico de Florianópolis. Fonte: COMCAP, 2019.

Cenário Factível - Escolhido		
Ano	Meta de Desvio dos Recicláveis Secos (%)	Meta de Desvio dos Resíduos Orgânicos (%)
2016	18,0%	7,5%
2017	20,0%	15,0%
2018	24,0%	25,0%
2019	30,0%	35,0%
2020	37,0%	45,0%
2021	44,0%	55,0%
2022	50,0%	65,0%
2023	53,0%	75,0%
2024	54,0%	80,0%
2025	55,0%	85,0%
2026	57,0%	90,0%
2027	58,0%	90,0%
2028	58,0%	90,0%
2029	59,0%	90,0%
2030	60,0%	90,0%

As alternativas de destinação dos resíduos sólidos são das mais variadas e as quais possuem suas vantagens e desvantagem, assim estas devem ser equalizadas de forma a atenderem as características específicas para cada região. Dentre os sistemas mais difundidos temos.

Tratamento Biológico, seja compostagem ou biodigestão (Fig. 01), caracterizasse pela decomposição natural dos resíduos orgânicos. Podem acontecer no próprio aterro com o aproveitamento do gás combustível por meio de canalização, quanto pode ocorrer em galpões específicos, além do aproveitamento do gás e de composto resultante pode ser destinado como adubo (SANT'ANNA JR, 2010). Como pontos negativos temos que o tratamento biológico é viável para geração de adubo em situações onde temos o lixo orgânico limpo, sem contaminação de polímeros ou metais pesados, o que não reflete a realidade da maior parte do RSU, quanto tratamos do aproveitamento dos gases, além necessidade de uma grande área para viabilizar a implantação de um sistema de geração e transmissão de energia, temos o passivo residual que fica no solo além do chorume que pode contaminar os efluentes.

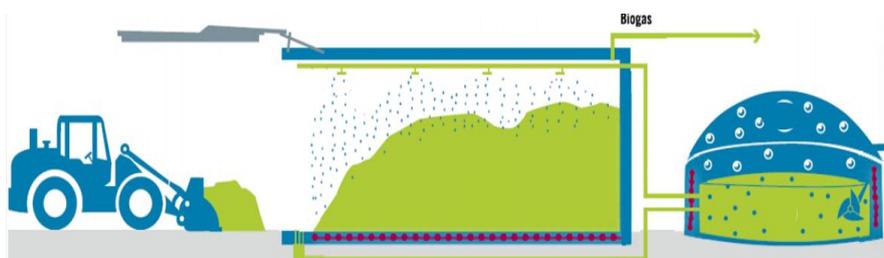


Figura 01: Esquemáticação: Sistema de Biodigestão (metanização) Fonte: Reichert, 2019.

Para o tratamento por decomposição térmica, elencamos os três mais relevantes: queima direta, pirólise lenta, e pirólise rápida. Nesse processo podemos ter como subproduto energia gerada pelo calor liberado diretamente pela queima dos resíduos ou do gás síntese em sistemas com caldeiras e turbinas comuns de geração. O resultado da pirólise lenta é a geração de carvão o qual pode ser utilizado em fornos industriais, gás síntese e rejeitos não triados. Para a pirólise rápida e queima direta temos energia e o composto mineral inerte (cinzas) como produto final. Como ponto negativo de ambos temos a necessidade de sistemas complexos de tratamentos dos gases, que representam uma parcela significativa do investimento de uma planta. Uma diferença entre os equipamentos de pirólise e de queima direta e que os de pirólise por terem um range maior “qualidade dos resíduos” não competem com associações ou empresas de reciclagem, já que os resíduos para estes equipamentos podem possuir alto teor de unidade.

O Reatores de Leito Fluidizado (FBR) são equipamentos de gaseificação, amplamente difundidos nos países desenvolvidos. E que possuem um grau de flexibilidade de configuração para a aplicação a características dos RSU de Florianópolis, para elaboração de um projeto coeso de avaliação é necessário inicialmente um custo de uma planta de capacidade similar a necessidade instalada para suprir a demanda da região estudada. Então o dimensionamento da unidade dar-se em base da análise da quantidade e qualidade dos resíduos.

O sistema FBR de decomposição térmica tratasse de uma unidade composta por um sistema de caldeira similar as de biomassa geradora de energia sendo alimentada por um Reator de pirólise rápida (FBR) seguindo o esquema apresentado na Figura 01.

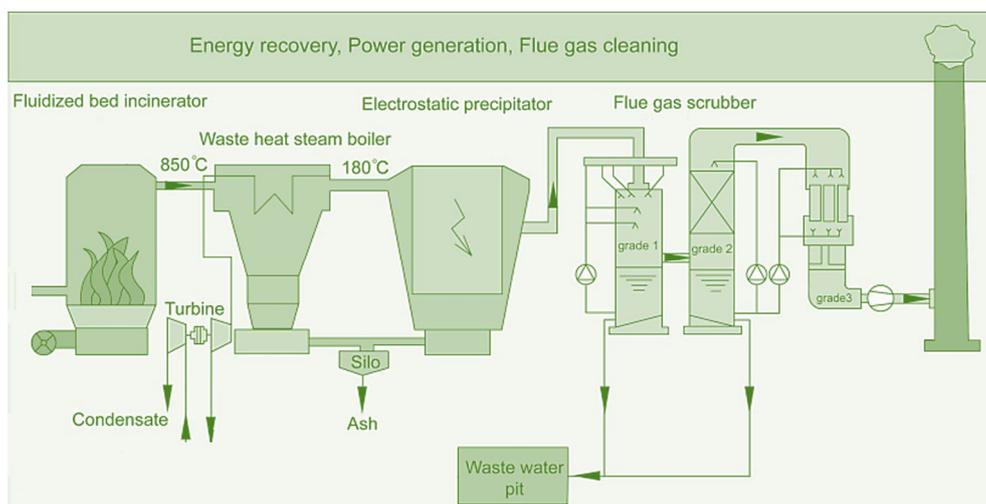


Figura 01: Esquemáticação: FBR, Gerador energia e limpeza de gases. Fonte: RASCHKA, 2015.

O modelo previsto pretende ser complementar a um sistema de triagem dos materiais reaproveitáveis, o qual aproveita a parte útil recuperável dos resíduos (metais, plásticos e papéis limpos) o demais, que não são possíveis tecnicamente e economicamente de aproveitamento, é destinado ao FBR para recuperação em forma de energia.

OBJETIVO

Assim este trabalho tem por objetivo apresentar o dimensionamento de uma unidade de tratamento por decomposição térmica de 400 T/dia com tecnologia de FBR para o RSU da cidade de Florianópolis, a qual promove a meta de geração de rejeito zero até 2030. Demonstrando para as variáveis propostas as perspectivas de viabilidade técnica e financeira para o projeto.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada para elaboração deste trabalho foi adaptada da *Quality Gate System - QGS* (SOUSA *et al*, 2011). Então, para atingir o objetivo de estudado foram seguidos cronologicamente os seguintes passos:

- Definição da Necessidade/Demanda Inicial;
- Pesquisa informacional: coleta de dados;
- Caracterização dos resíduos e qualidade energética (PCI);
- Análise do potencial em disposição (projeção);
- Estudo de Viabilidade por meio de planilha financeira.

Para a elaboração da planilha de avaliação econômica do projeto foi necessário aplicar ferramentas técnicas de análise financeira de projeto (BERGMAM, 2019) (PEREIRA; ALMEIDA, 2011) considerando a duração, o tempo de retorno e as características econômicas do projeto.

DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Para a caracterização da gravimetria foi utilizado estudo da CONRESOL (2019) da região metropolitana de Curitiba, a qual possui mais similaridades com os resíduos de Florianópolis, seja por proximidade geográfica e padrão econômico de consumo. Então foram confrontados os dados com o cenário da cidade de Florianópolis pelos dados disponibilizados pela COMCAP (2019).

A Tabela 02 apresenta a estimativa da composição gravimetria para RSU da unidade de recuperação de resíduos em Florianópolis considerando 400 Toneladas dia bruto de RSU. Considerando também como origem a coleta convencional, poda de arvores e rejeito de unidades da coleta seletiva.

Tabela 01. Gravimétrica Estimada para Florianópolis. Fonte: Autor do Trabalho

Material	Gravimetria média (%)	Gravimetria estimada (t)
Plásticos	16,85 %	67,40
Papel	25,00 %	100,00
Metais	0,91 %	3,64
Metais NF	0,83 %	3,32
Orgânicos	42,00 %	168,00
Tecidos	3,14 %	12,56
Diversos	11,27%	45,08
Total	100 %	400

Após a definição da caracterização da gravimetria dos resíduos de entrada efetuamos o cálculo do PCI (Potencial Calorífico Inferior) para cada tipo de material, gerando o valor do potencial energético presente nos resíduos de entrada, após as deduções de eficiência do equipamento, consumo próprio e perdas definimos o rendimento. De mão do rendimento energético e do valor de venda da energia de 250 R\$/MW foi montada a Tabela 02.

Tabela 02. Eficiência energética por receita energia. Fonte: Autor do Trabalho

Material	Gravimetria (t/dia)	PCI kcal/kg	MW/h real	MW/h	RECEITA Mensal (R\$)
Plásticos	67,40	6200	20,96	4,61	830.145
Papel	100,00	2200	11,04	2,43	437.044
Metais	3,64	0	0,00	0	0
Metais NF	3,32	0	0,00	0	0
Orgânicos	168,00	700	5,90	1,30	233.619
Tecidos	12,56	1200	0,76	0,17	29.941
Diversos	45,08	1400	3,17	0,70	125.376
Totais	400	2084	41,46	9,32	1.656.127

Como o sistema gera benefícios de recepção e redução dos resíduos gerados podemos considerar o impacto nas contas públicas com relação ao valor direcionado ao transporte para aterro. Aterros estes que, por precisarem estar isolados ambientalmente, no geral não possuem uma localização privilegiada, no caso de Florianópolis o aterro sanitário de Biguaçu fica a cerca de 43 km, gerando custos que em média ultrapassam o R\$ 1 milhão por mês.

Para a composição das receitas desse projeto foram desconsiderados o custo de transporte, o custo de deposição esse entra como receita positiva, o FBR reduz a 10% do volume inicial do RSU, restando apenas resíduo mineral inerte. Então foi considerado R\$ 145 como valor a ser recebido como compensação pelo custo de depósito. Esse valor é composto dos R\$ 161 que são valor pagos pela prefeitura (COMCAP, 2019) subtraídos dos R\$ 16,1 equivalentes ao custo de destinação de 10% resíduo resultante (Tabela 03).



Tabela 03. Receita geral da Sistema FBR. Fonte: Autor do Trabalho

Redução	Descrição	Mês
145 R\$/T		(1.000 R\$)
Preço MW/h	Receitas Redução	1.825
250R\$	Energia Elétrica	1.656
Total		3.481

Em relação a viabilidade econômica, foram considerados os principais indicadores exigidos nos editais de licitação que são os valores referentes a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Valor Presente Líquido (VLP), CAPEX e *Payback* descontado. Temos então a Tabela 04.

Tabela 04. Resultado do estudo de viabilidade econômica. Fonte: Autor do Trabalho

RESULTADOS	GERAÇÃO	Unidade
TIR (a.a.)	18,87%	-
VLP	122.291.00	R\$
Lucro	1.725	R\$/Mês
EBITIDA	2.609.800	R\$/Mês
OPEX	225.000	R\$/Mês
CAPEX	107.950.000	R\$
<i>Payback.</i>	6	Anos
<i>Payback Des.</i>	7	Anos
Vida Útil	25	Anos

A TIR é um parâmetro amplamente utilizado na avaliação de projetos de longo prazo já que considera a desvalorização da moeda com relação ao tempo. Para esse projeto foi utilizado o tempo de 25 anos de vida útil. Uma TIR de 18,87% é muito vantajosa, considerando que para geração de biogás de resíduos orgânicos temos 11,96 % (SPG, 2015) o que é uma margem comum para projetos de Parcerias Público Privadas (PPP).

Outro parâmetro bem representativo é o EBITDA (Lucro Antes de Juros, Impostos, Depreciação e Amortização), apenas o lucro não é representativo o suficiente quando tratamos de grandes vultos ou investimentos, já que estes sofrem impactos diretos de movimentos macroeconômicos, desde políticas tributárias a evolução cambial do país. Uma EBITDA acima dos R\$ 2,6 milhões ao mês, considerando um investimento inicial de R\$ 107 milhões, tanto é satisfatório para o investidor nacional, quanto para o internacional.

O CAPEX (despesas com bens de aquisição) e o OPEX (despesas com serviços de operação) são fatores que demonstram a escala do projeto, com um CAPEX estimado de R\$ 107,95 milhões, como o sistema é uma planta operacional o aporte seria distribuído no decorrer do cronograma de implantação. O tempo estimando para implantação são de 24 meses. Distribuídos entre engenharia básica, fabricação, instalação. Então pelo período de 2 anos antes do início da operação os valores investidos não estariam gerando receita. Mesmo assim o *Payback* descontado, aquele que está sujeito a variação progressiva da desvalorização monetária, está estimado em 7 anos, distribuídos em 2 de implantação e 5 de operação.

Além o projeto proposto contemplar ganhos ambientais, com a eliminação da disposição de resíduos brutos no meio ambiente. O estudo também indica redução de mais de 75% da quilometragem pelos caminhões de coleta, gerando uma redução de mais de 20% da geração de gases do efeito estufa destes. O Sistema é capaz de gerar cerca de 80,6 GWh/ano que segundo a EPE (2017) equivale ao consumo médio anual de 41,1 mil famílias, cerca de 10% do consumo doméstico da cidade de Florianópolis.



CONCLUSÕES

Considerado a PNRS temos um modelo compatível com as diretrizes propostas. Onde o resíduo bruto deixa de ser destinado a aterro sanitário, para então ser processado e reaproveitado, agregando valor econômico ao que antes era destinado aos aterros, sendo então diretamente responsável pela diminuição de passivos ambientais, dos custos de disposição e produção de energia, gerando assim desenvolvimento econômico regional.

O sistema FBR apresentado demonstrou-se viável e vantajoso economicamente para a região metropolitana de Florianópolis com um *Payback* estimado em 6 anos valor investido de 108 milhões de reais para a quantidade aferida e qualidade estimada dos resíduos.

Esta tecnologia também demonstrou flexibilidade o suficiente para absorção dos RSU nas características parametrizadas para Florianópolis.

Para implantação final de uma unidade FBR há variáveis que devem ser revisados que estão relacionadas a quantidade de qualidade de relativas dos resíduos, informações da localização e quantidade de resíduos por centro gerador, informações sobre localização e distâncias entre as unidades de recuperação. Então esse estudo se justifica, servindo com etapa inicial e como base para tomadas de decisão.

Para os cálculos foram considerados todos os impostos e encargos do estado de Santa Catarina, no processo identificamos que a alta carga tributária brasileira impacta na viabilidade do projeto, se comparamos com projetos consumados em outros países, com isso esperamos políticas de incentivos fiscais que favoreçam o desenvolvimento e implantação de tecnologias verdes, pois como o proposto neste projeto, temos o aproveitamento de um recurso que anteriormente seria destinado a aterros tornando um passivo ambiental de alto impacto para gerar valor econômico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), **Panorama dos Resíduos sólidos no Brasil 2018/2019**. São Paulo: Abrelpe, 2019.
2. Bergman, B. **Avaliação econômica de projetos**, SENAC, Apostila AVEF – Esp. Gerenciamento de Projetos. Rio do Sul, 2019.
3. Autarquia de Melhoramentos da Capital (COMCAP) **Valorização de Resíduos Sólidos: Movimentação de resíduos em 2019**. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/entidades/comcap/index.php?cms=valorizacao+de+residuos-+solidos&menu=6&submenuid=1414>. Acessado em: 13 de fev. 2020.
4. Consorcio Intermunicipal de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (CONRESOL), **Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica Financeira (EVTE), 2019**. Disponível em: <https://mid.curitiba.pr.gov.br/2020/00290035.pdf>. Acessado em: 12 de Jan. 2020.
5. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2015-2024)**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), p.90, 2017.
6. Pereira, W.A.; Almeida, L. S.; **Método manual para cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR)**, 2011, disponível em: <https://docplayer.com.br/4808401-Metodo-manual-para-calculo-da-taxa-interna-de-retorno-warley-augusto-pereira-1-lindomar-da-silva-almeida-2.html> Acesso em: 27 de Fev. 2020.
7. RASCHKA, **Sludge Incineration technology, Technical Catalogue** ed. Out/2015. Raschka Engineering Ltd, Liestal, Switzerland 2015.
8. Reichert, G. A. **Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos Urbanos: Rotas Tecnológicas para RSU**, Curso de Pré-Congresso, 30º ABES, Natal, 2019.
9. Sant'Anna Jr. G. L. **Tratamento Biológico de Efluente: fundamentos e aplicações**. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro: Interciência, 2010.
10. 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, Natal, 2011.
11. Superintendência de Desenvolvimento da Região Metropolitana da Grande Florianópolis (SPG), **Cidades Inteligentes e Sustentáveis: Propostas e Estudos para a Região Metropolitana da Grande Florianópolis**. Disponível em: <http://www.spg.sc.gov.br/visualizar-biblioteca/acoef/regiao-metropolitana/793-gestao-residuos-solidos-efluentes-suderf/file>. Acessado em 20 de abr. de 2020.