

Valoração ambiental e geração de energia como subproduto do sistema de tratamento de resíduos sólidos urbanos por pirólise

Introdução

A capacidade da biosfera em absorver os resíduos gerados pela humanidade há muito foi sobrecarregada.

A utilização de recursos aumentou 800% em relação ao século passado (KRAUSMANN et al, 2009).



**1,8 bilhões de toneladas
de RSU por ano**



Introdução

A problemática do gerenciamento adequado dos resíduos sólidos urbanos tem sido um grande desafio, pois fatores como:

- ✓ Quantidade;
- ✓ Volume;
- ✓ Variedade;
- ✓ Complexidade

acarretam riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

No Brasil apenas 53% dos resíduos Sólidos Urbanos possui tratamento adequado (ABRELPE, 2013).



A Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305 (BRASIL, 2010), contempla a adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas e/ou com recuperação energética como forma de minimizar os impactos ambientais.



Este estudo avalia uma alternativa pioneira no Brasil para o tratamento de resíduos sólidos urbanos - o Projeto Natureza Limpa - localizado na cidade de UNAÍ – MG, que utiliza a pirólise para produzir o Resíduo Urbano Carbonizado (RUC) e tratar 17,5 mil t/ano.



Reator pirolítico



Resíduo Urbano Carbonizado - RUC



Estado da arte

A carbonização de resíduos oferece vantagens ambientais, pois o processo ocorre num ambiente escasso de oxigênio (WIGGERS, 2003).

O poder calorífico do RUC pode chegar a 50% do poder calorífico do carvão vegetal (MATSUZAWA et al, 2007).

Para obter a maior produção de carvão, a temperatura ideal para a carbonização é de 300°C (PEREIRA, 2006).



Metodologia

A síntese em emergia é uma metodologia desenvolvida por H.T. Odum (1996). É definida como toda energia necessária, utilizada direta ou indiretamente, para gerar um produto ou serviço.

A metodologia emergética (Odum, 1996) se propõe a medir todas as contribuições (moeda, massa, energia, informação) em termos equivalente: energia solar equivalente (sej)



Metodologia

Todos os insumos utilizados na implantação e operação do sistema, são denominados fluxos de energia, e estes são convertidos para uma base comum, denominada Joules de energia solar (sej).

Para converter todos os fluxos do sistema em uma base comum (sej) é utilizada a transformidade (Sej/J) - quando os fluxos provêm de fontes de energia – e pela unidade de energia valorada (UEV), quando os fluxos provêm de unidades de medida (g, m³...)



Metodologia

A metodologia é desenvolvida em quatro etapas a saber:

- Construção do Diagrama de energia
- Construção da Tabela de energia
- Cálculo dos Indicadores de energia
- Interpretação dos resultados dos indicadores



Metodologia

1. Construção do Diagrama de energia.

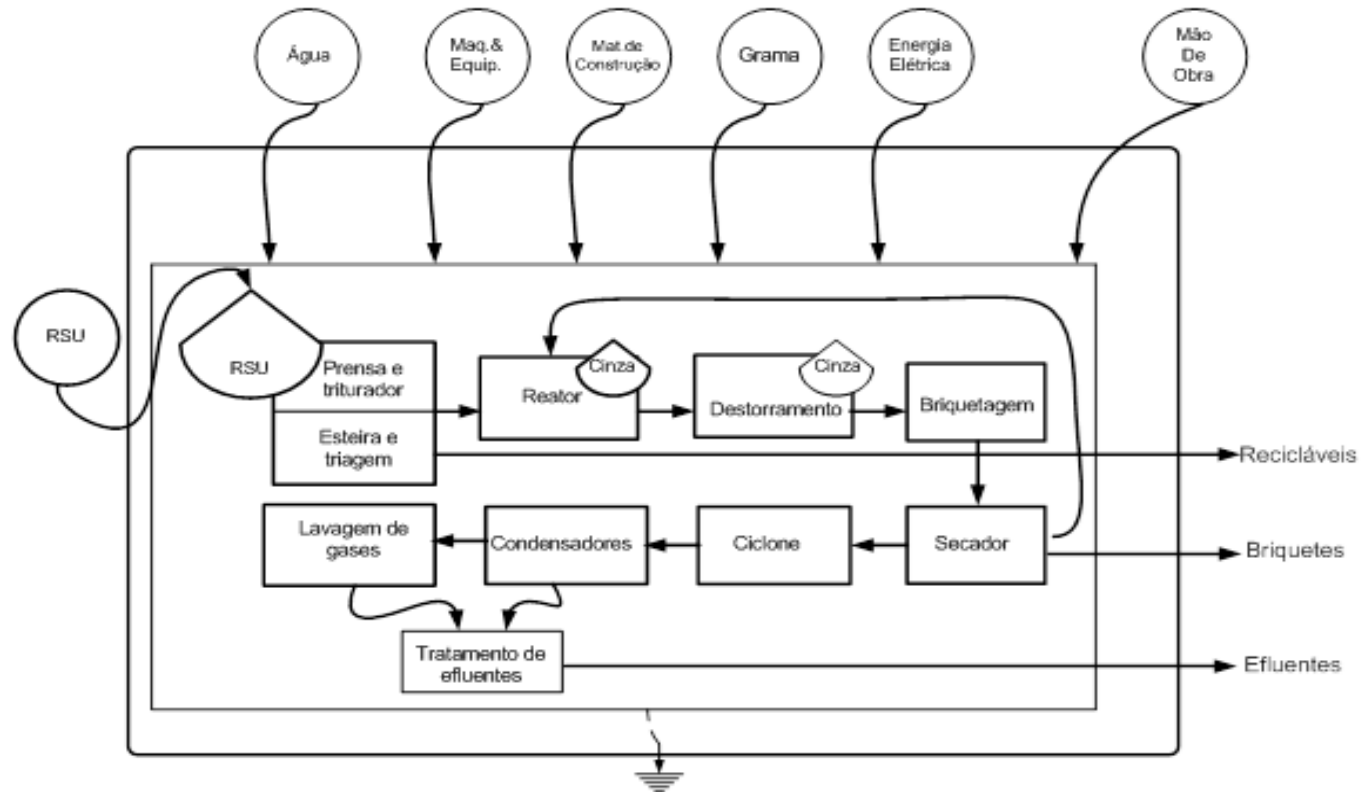


Diagrama de energia do Projeto Natureza Limpa



Metodologia

2. Construção da Tabela de energia.

Nota	Descrição	Unidade	Classe	Valor (un/ano)	Energia por unidade (sej/un)	Fator de Correç ão	Energia (sej/ano)	% (sej/sej)
	RSU tratado	g		<u>1,75x10¹⁰</u>				
	Fase de Implantação							
1	Solo	J	N	1,41x10 ¹²	2,21x10 ⁴	1,00	3,12x10 ¹⁶	1,34%
2	Mão de obra	J	F	9,88x10 ⁸	4,30x10 ⁶	1,00	4,25x10 ¹⁵	<1%
3	Cimento (Artefato)	g	F	4,86x10 ⁵	1,20x10 ⁹	1,00	5,83x10 ¹⁴	<1%
4	Blocos	g	F	1,02x10 ⁷	1,35x10 ⁹	1,68	2,31x10 ¹⁶	1%
5	Concreto	g	F	1,82x10 ⁷	1,54x10 ⁹	1,68	4,71x10 ¹⁶	2,03%
6	Asfalto	g	F	2,00x10 ⁷	4,74x10 ⁹	1,68	1,59x10 ¹⁶	<1%
7	Aço Galv.(telhas)	g	F	3,26x10 ⁶	1,81x10 ⁹	1,00	5,90x10 ¹⁵	<1%
8	Aço Estrutural	g	F	3,31x10 ⁶	2,77x10 ⁹	1,00	9,17x10 ¹⁵	<1%
9	Aço Maq.& Equip.	g	F	1,64x10 ⁷	3,00x10 ⁹	1,00	4,92x10 ¹⁶	2,12%
10	Cimento (massa)	g	F	3,69x10 ⁶	3,31x10 ⁹	1,00	1,22x10 ¹⁶	<1%
	Fase de operação							
11	Energia Elétrica	J	F	2,68x10 ¹²	2,69x10 ⁵	1,68	1,21x10 ¹⁸	<u>52,20%</u>
12	Mão de obra	J	F	1,70x10 ¹¹	4,30x10 ⁶	1,00	7,31x10 ¹⁷	<u>31,47%</u>
13	Água	m ³	F	2,33x10 ⁵	7,75x10 ¹¹	1,00	1,81x10 ¹⁷	7,77%
	Energia Total						2,32x10 ¹⁸	100%

A Transformidade e a Unidade de Energia Valorada (UEV) são utilizadas para converter todos os fluxos em uma métrica comum, o Joules de Energia solar (sej).

R = Renovável
N = Não Renovável
F = Providos pela economia



Metodologia

3. Cálculo dos Indicadores

Energia recuperada - (energia do produto(J)/massa de RSU tratado (g)). É um indicador de eficiência do sistema, capaz de fornecer a quantidade de Joules recuperados a partir de um grama de RSU tratado

Energia recuperada - (energia recuperada x transformidade). A multiplicação permite estimar a quantidade de energia que o sistema consegue recuperar a partir de 1 grama de RSU tratado.

Energia Líquida (energia recuperada – energia processo por grama de RSU) (sej/g). Indica o quanto o sistema recupera de energia, quanto maior for o índice, melhor para o sistema.

Razão entre a energia recuperada e a energia utilizada. É um indicador de custo-benefício, pois mensura o percentual de que o sistema consegue obter em relação à toda energia utilizada por grama de RSU no processo. .



Resultados

<i>Jel Excedente</i> (J)	<i>Transformidade</i> (sej/J)	<i>Unidade de energia valorada (UEV)</i>	
		(sej/kWh)	(sej/g)
$5,69 \times 10^{13}$	$4,08 \times 10^4$	$1,42 \times 10^{12}$	$1,01 \times 10^{12}$

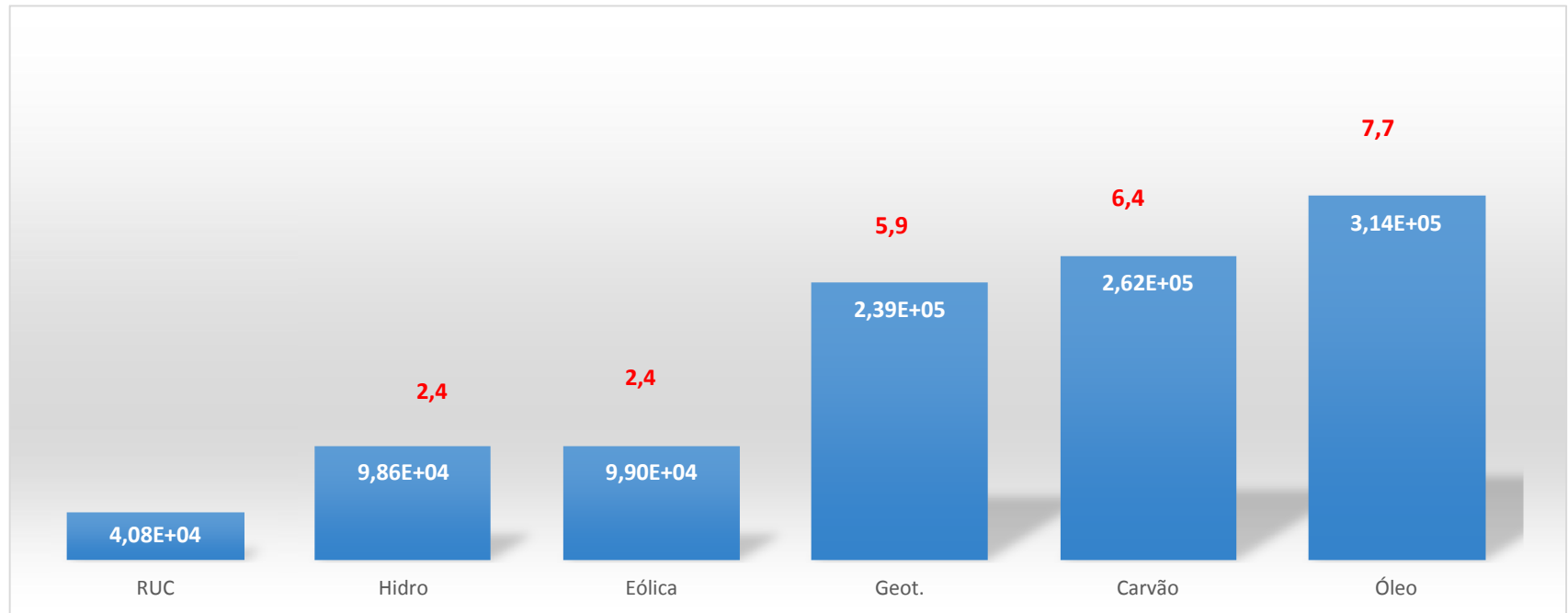
O sistema pode produzir com os resíduos carbonizados (RUC) $2,16 \times 10^7$ kWh ($7,79 \times 10^{13}$ J), gerando desta forma um excedente anual de $2,03 \times 10^7$ kWh ou $5,69 \times 10^{13}$ Joules.

A transformidade pode ser considerada como um indicador, pois um valor muito alto, aponta que o sistema realizou um grande esforço para a obter um insumo (No caso, RUC)



Resultados

Comparando as transformidades com outros sistemas de geração de energia



*Almeida et al, 2011



Resultados

Comparação efetuada com o estudo de Marquettinni et al (2006).

<i>Planta</i>	<i>Produto (J_{el})</i>	<i>Energia Recuperada (J/g)</i>	<i>Transformidade (sej/J)</i>	<i>Energia Recuperada (sej/g)</i>
<i>Pirólise</i>	$5,69 \times 10^{13}$	$3,25 \times 10^3$	$4,25 \times 10^5$	$1,47 \times 10^9$
<i>Aterro sanitário*</i>	$1,16 \times 10^{14}$	5 $6,81 \times 10^2$	$1,48 \times 10^5$	14,5 $1,01 \times 10^8$
<i>Incineração*</i>	$9,58 \times 10^{13}$	4 $8,87 \times 10^2$	$1,48 \times 10^5$	2,63 $5,59 \times 10^8$

Nota-se, em quantidade de Joules, produzido pelo sistema pelo excedente de RUC, é menor quando comparado à energia produzida pelo sanitário e por uma planta de incineração.

Todavia, pode-se recuperar 5 vezes mais energia que o aterro sanitário com produção de energia elétrica e 4 vezes mais que a planta de incineração.



Resultados

Energia líquida:

	<i>Indicadores</i>		
	<i>Pirólise</i>	<i>Aterro sanitário</i>	<i>Incineração</i>
<i>EMERGIA LÍQUIDA (sej/g)</i>	$1,34 \times 10^9$	$-4,21 \times 10^8$	$3,84 \times 10^8$
<i>EMERGIA RECUP. DO PRODUTO</i>			
<i>EMERGIA TRAT. POR GRAMA RSU</i>	$1,11 \times 10^1$	$1,90 \times 10^{-1}$	$3,20 \times 10^0$
	1110%	19%	320%

Pela metodologia utilizada nesse estudo, o sistema comprovou ser capaz de realizar ganhos em Joules de energia solar e Joules de energia.

Os índices de eficiência obtidos pelo sistema de tratamento mostraram que a tecnologia utilizada pelo Projeto Natureza Limpa tem um enorme potencial não só para ser tornar um sistema viável de tratamento de RSU no Brasil, mas também uma fonte promissora de energia para outros sistemas, por meio dos resíduos urbanos carbonizados



Melhorias

A metodologia não contempla os benefícios que a tecnologia promove ao meio ambiente caso os resíduos fossem depositados em um aterro sanitário comum ou em lixões ao céu aberto, como a contaminação do solo, de lençóis freáticos e águas superficiais pelo líquido percolado (chorume), emissão de gases de efeito estufa (GEE), os vetores que são atraídos pelos resíduos e à saúde da população que vive no entorno desses sistemas.



Referências Bibliográficas

- ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil http://www.abrelpe.org.br/panorama_edicoes.cfm acesso em fevereiro/2015.
- ALMEIDA, M.V.B.C., FRIMAIO, G.S., BONILHA, H.S., SILVA, C.C., GIANNETTI, B.F. An evaluation of a MSW-to-energy system using Emergy synthesis. *Int. J. Environment and Sustainable Development*, Vol. 11, No. 3, 2012.
- Bastianoni, S., Porcelli, M. and Pulselli, F.M. 2002. EMergy evaluation of composting municipal solid waste, in Brebbia, C.A., Almorza, D., Sale, D. and Popov, V. (Eds.): *Waste Management and the Environment*, pp.575–583, WIT Press, Southampton.
- Bleischwitz, R., Giljum, S., Kuhndt, M. and Schmidt-Bleek F. 2009. Eco-innovation – putting the EU on the path to a resource and energy efficient economy, Wuppertal Institute, Sustainable Europe Research Institute, CSCP and Factor Ten Institute, http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/ws38.pdf.
- Björklund, A. 2000. Environmental systems analysis of waste management: Experiences from applications of the ORWARE model, P.hD. Thesis, Division of Industrial Ecology. Royal Institute of Technology, Stockholm.



Referências Bibliográficas

- BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm acesso em fevereiro/2015.
- Brown, M.T. and Buranakarn, V. 2003. 'EMergy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options , Resources, Conservation and Recycling, Vol. 38, No. 1, pp.1–22.
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2014/default.shtm> acesso em março/2015.
- Islam, M.N., Beg, M.R.A. 2004. The fuel properties of pyrolysis liquid derived from urban solid wastes in Bangladesh, *Bioresource Technology*, v. 92, pp. 181-186.
- Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K-H., Haberl, H., Fischer-Kowalski, M. 2009. Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century, *Ecological Economics*, 68 (10), pp. 2696-2705.
- Marchettini, N., Ridolfi, R. and Tiezzi, E. 2002. EMergy assessment of an integrated municipal solid waste management, in Brebbia, C.A., Almorza, D., Sale, D. and Popov, V. (Eds.): *Waste Management and the Environment*, pp.575–583, WIT Press, Southampton.



Referências Bibliográficas

- Matsuzawa, Y., Mae, K., Hasegawa, I., Suzuki, K., Fujiyoshi, H., Ito, M., & Ayabe, M. 2007. Characterization of Carbonized Municipal Waste as Substitute for Coal Fuel. Fuel. Elsevier.Japan, pp. `
- Niccolucci, V., Panzieri, M., Porcelli, M. and Ridolfi, R. 2002 'Emergy assessment of different strategies for municipal solid waste management in Italy, 2001', in Proceedings of the 2nd Biennial EMergy Analysis Research Conference, pp.409-419, Gainesville, FL, USA.
- Odum, H.T. 1996. Environmental Accounting – Emergy and Environmental Decision Making, John Wiley & Sons Ltd, New York, NY.
- Tôrres Filho, A. 2014.Aplicação do processo de pirólise para valoração, cogeração de energia e tratamento de resíduos.Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia.173p.
- Ulgiati, S. and Brown, M.T. 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems, Ecological Modelling, Vol. 108, Nos. 1-3, pp.23-36.
- Wiggers, V. R. 2003. Simulação, projeto e construção de uma unidade piloto multi-propósito para pirólise de resíduos. Faculdade de Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas. Dissertação de mestrado.



Agradecimentos

- Capes - Capacitação
- PROSUP – Concessão de Bolsa de Estudo
- Universidade Paulista – Capacitação e Estrutura
- Projeto Natureza Limpa – Sr. Mário Martins - Viabilização
- Marquitech (Marcelo) – Dados Físicos de Máquinas
- Lippel (Leandro Markeuz) – Dados Físicos de Máquinas
- Probat (Vanilson e Giovana) – Dados Físicos de Máquinas
- Verlag (Paulo A. Boff) – Dados Físicos de Máquinas
- À todos os ouvintes



