

XI Congresso Brasileiro de Análise Térmica e Calorimetria

CBRATEC – 2018

Rio de Janeiro/RJ - Brasil, 22 – 24 Abril 2018

“Avaliação de lodo de esgoto em consórcio com poda urbana para obtenção de um combustível sólido pelo processo de peletização e torrefação”

Weverton Campos Nozela

Colaboradores: Francisco Raimundo da Silva, Diógenes Santos Dias,
Sonia Almeida, Marisa Spirandeli Crespi

Departamento de Química Analítica
Instituto de Química
Universidade Estadual Paulista - UNESP

Araraquara/SP – Brasil

23 Abr. 2018



Sumário

Introdução

Objetivo

Materiais e métodos

Resultados e discussão

Conclusão

Referências

Agradecimentos

Introdução

Resíduos Sólidos – NBR 10.004/2004

Resíduos Sólidos são resíduos nos estados sólidos ou semi sólidos provenientes da atividade humana

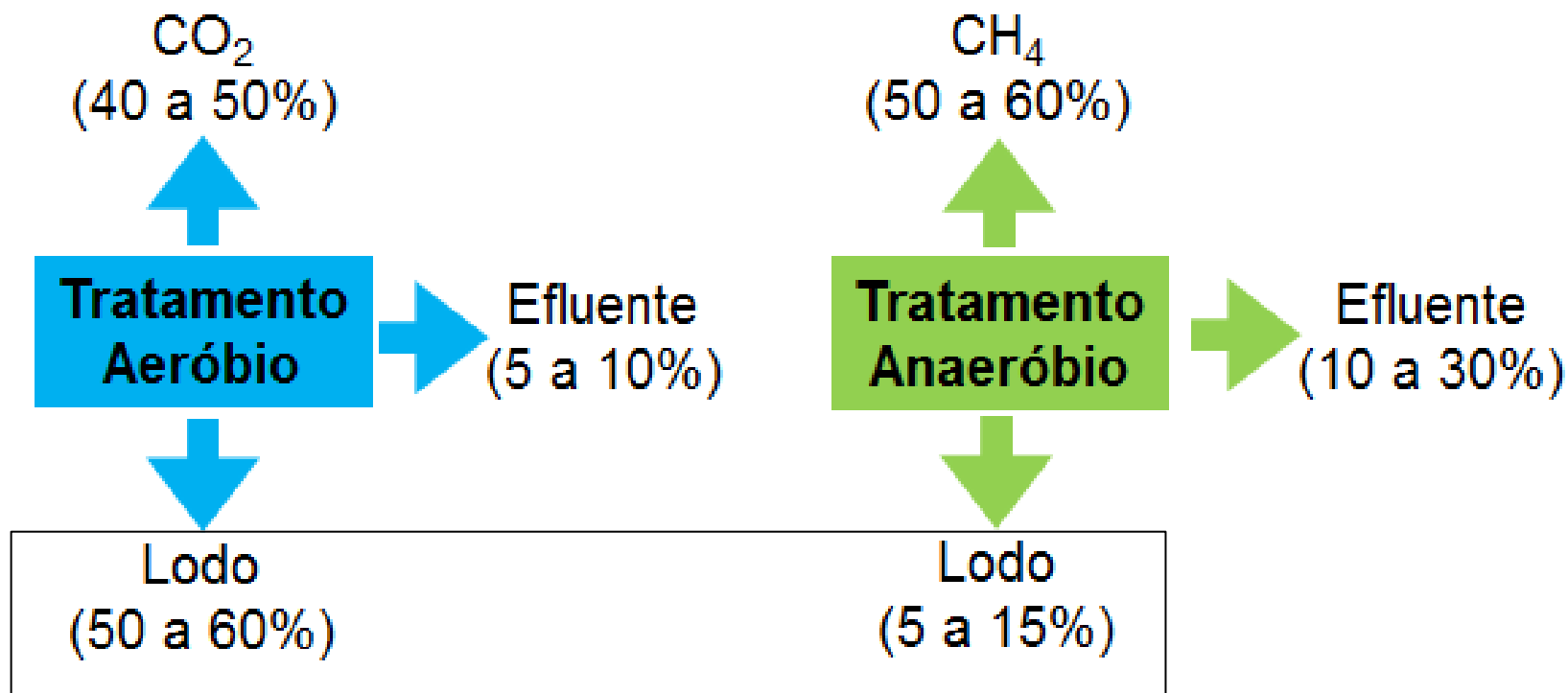
- Lodo de esgoto
- Poda urbana

Lei Federal nº 12.305/2010

Política Nacional de Resíduos Sólidos

- Reutilização, reciclagem, compostagem e recuperação energética de resíduos.

Tratamento de Esgoto



Lodo de esgoto: Produção, disposição e custos

País	Produção kton/ano Massa seca	Agricultura %	Incineração %	Aterro Sanitário %	Outros %
Alemanha	2	30	50	0	20
Espanha	1,3	65	10	20	5
Holanda	0,6	0	100	-	-
Reino Unido	1,6	70	20	-	10
Brasil	220	15%	-	50%	35%
Custo/US\$ t ⁻¹		20 a 125	55 a 250	20 a 60	

Custo elevado!

Matriz Energética

Fonte	Mundo	Brasil
Petróleo	35%	37.4%
Carvão mineral	25,3%	6,0%
Gás Natural	20,7%	9,3%
Hydroelétrica	2,2%	14,9%
Biomassa	10,5%	31,1%
Energia nuclear	6,3%	1,3%

Brasil
Tropical e
Continental

Quente, úmido e
com grande área
disponível para
produção de
biomassa

Biomassa é a matéria orgânica proveniente de plantas, animais e microrganismos

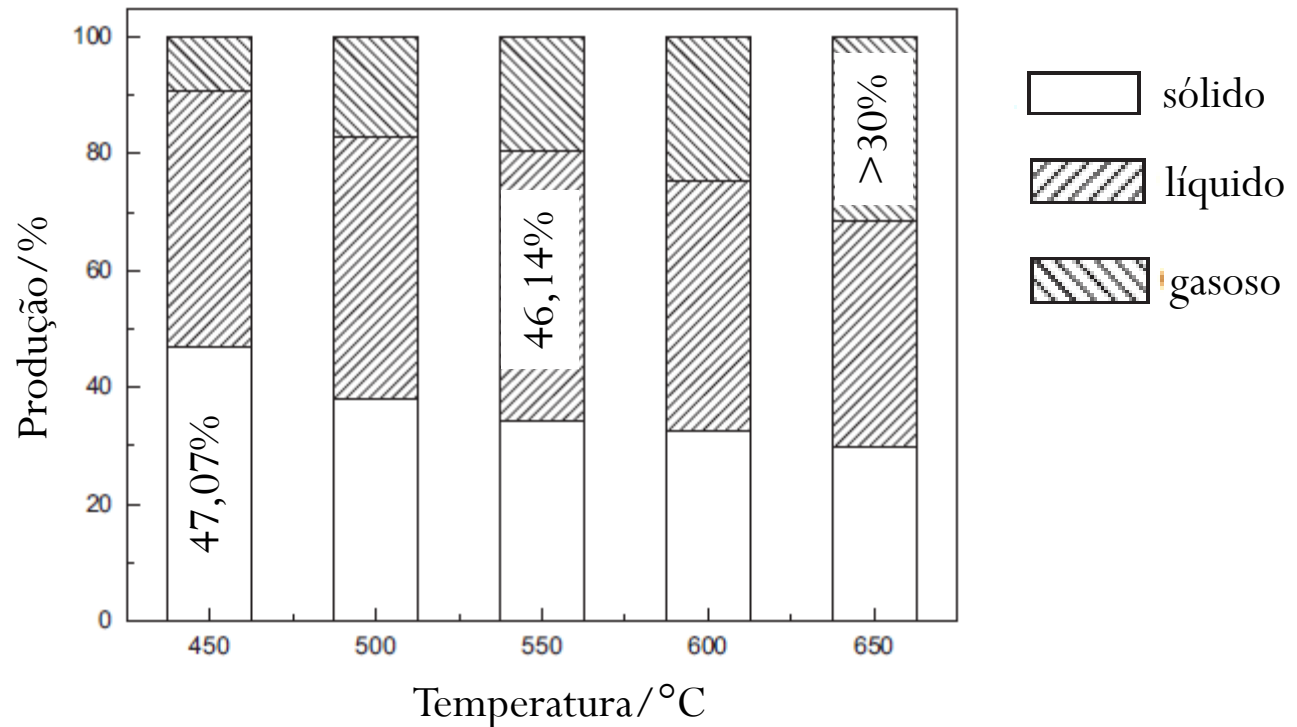


Poda urbana e Lodo de esgoto

Pirólise


Pirólise: Processo de conversão termoquímica em ausência de oxigênio em temperatura entre 300 e 700 °C

Lodo de Esgoto - $\beta = 100 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$



Torrefação

Torrefação: é uma pirólise parcial realizada em atmosfera inerte e temperatura entre 200 e 300 °C

- Remove umidade.
- Remove parcialmente material volátil, principalmente os não combustíveis.
- Concentra o teor de carbono fixo. 
- Aumenta a densidade energética.

Objetivo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a obtenção de um combustível sólido pelo processo de peletização e torrefação de mistura de resíduos de podas urbanas e lodo ativado de tratamento de esgoto, ambas coletadas no município de Araraquara/SP.

Materiais e Métodos

Coleta de amostra



Araraquara/SP
Brasil
População: 230.000



Estação de Tratamento de Esgoto

Lodo ativado leito de secagem



Aterro Sanitário

Moagem e secagem

11

Lodo Ativado

LA



Aterro
Sanitário

PU

Poda Urbana

Preparação das amostras

LA e PU

**Moagem
criogênica**

Mistura

M

50% LA
50% PU

LA, PU e M

Peletização:

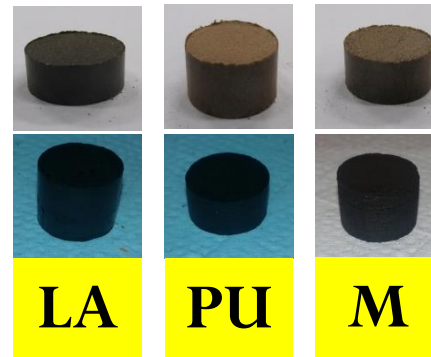
Pressão de 3 toneladas em
prensa hidráulica

Torrefação

Pirólise em mufla

$\beta - 10 \text{ } ^\circ\text{C min}^{-1}$ até $260 \text{ } ^\circ\text{C}$

60 minutos de isoterma²



Peletizado

Peletizado e
Torrefado



**Técnicas
analíticas**

**Condições
experimentais**

**Equipamento
modelo**

Estudo cinético
 $E_a/\text{kJ mol}^{-1}$

$\beta = 5, 10, 20 \text{ } ^\circ\text{C min}^{-1}$
25 $^\circ\text{C}$ até 700 $^\circ\text{C}/\text{N}_2$

**Temperatura de
ignição - $^\circ\text{C}$**

$\beta = 20 \text{ } ^\circ\text{C min}^{-1}$
25 até 400 $^\circ\text{C}$
 N_2 e ar sintético

Análise imediata¹
% Umidade,
Material Volátil,
Carbono Fixo e
Cinzas

$\beta = 50.0 \text{ } ^\circ\text{C min}^{-1}$
Até 110 $^\circ\text{C}$ Isoterma 15 min.
Até 600 $^\circ\text{C}$ Isoterma 30 min.
 CO_2 e ar sintético

TG/DTA
Simultaneous
SDT-2960 – TA
Instruments

**Poder Calorífico
Superior Teórico**
 MJ kg^{-1}

$$\text{PCS}^2 = 0,3536 \times \text{CF} + 0,1559 \times \text{MV} - 0,0078 \times \text{CINZAS}$$

Resultados e discussão

Lodo Ativado e Poda Urbana

	Lodo de esgoto ¹	Bagaço de cana ²	LA		PU	
			P	P+T	P	P+T
Temp. Ignição/°C	250	240	231	268	255	247
Umidade/%	6,2	7,6	8,06	2,90	6,94	3,43
Material Volátil/%	58,9	79,2	50,12	29,62	67,53	47,26
Carbono Fixo/%	19,0	9,6	16,52	24,34	21,36	46,20
Cinzas/%	15,9	3,5	25,30	43,14	4,17	3,11
PCS/MJ kg ⁻¹	20,43	17,5	13,45	12,87	18,04	23,65

LA – Lodo Ativado

PU – Poda Urbana

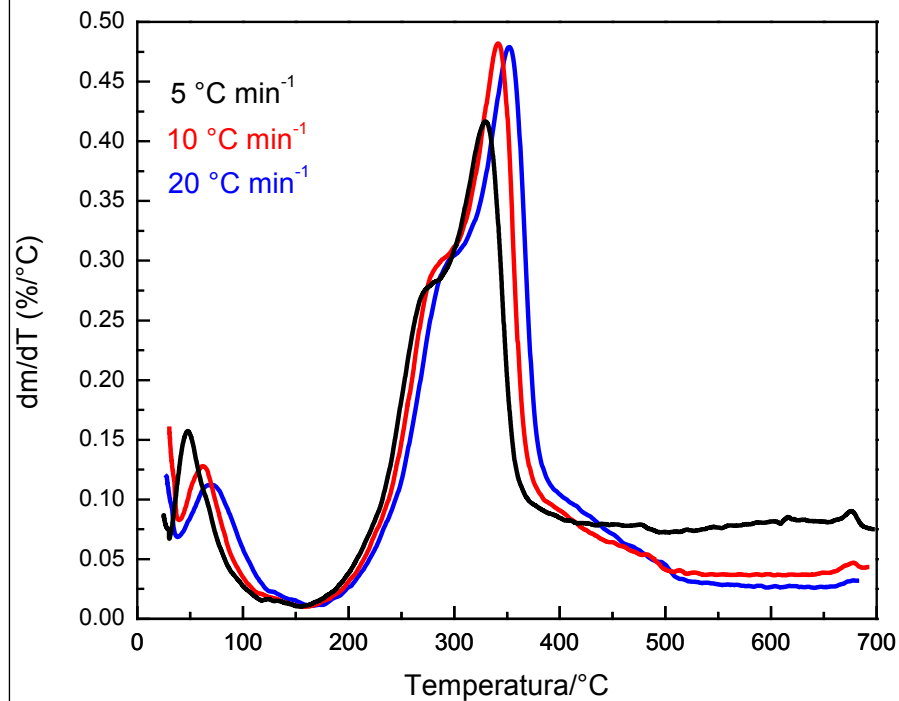
P – Peletizado

P+T – Peletizado e Torrefado

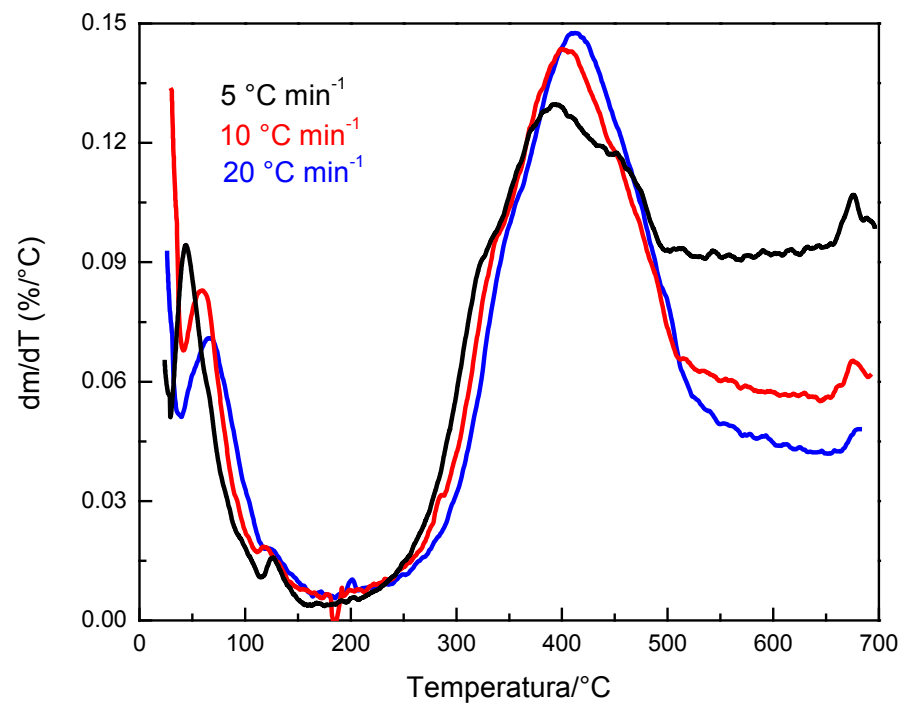
Estudo Cinético – Mistura

Método Local Linear Isoconversional Integral análogo ao
Método de Wanjun-Donghua

Peletizado

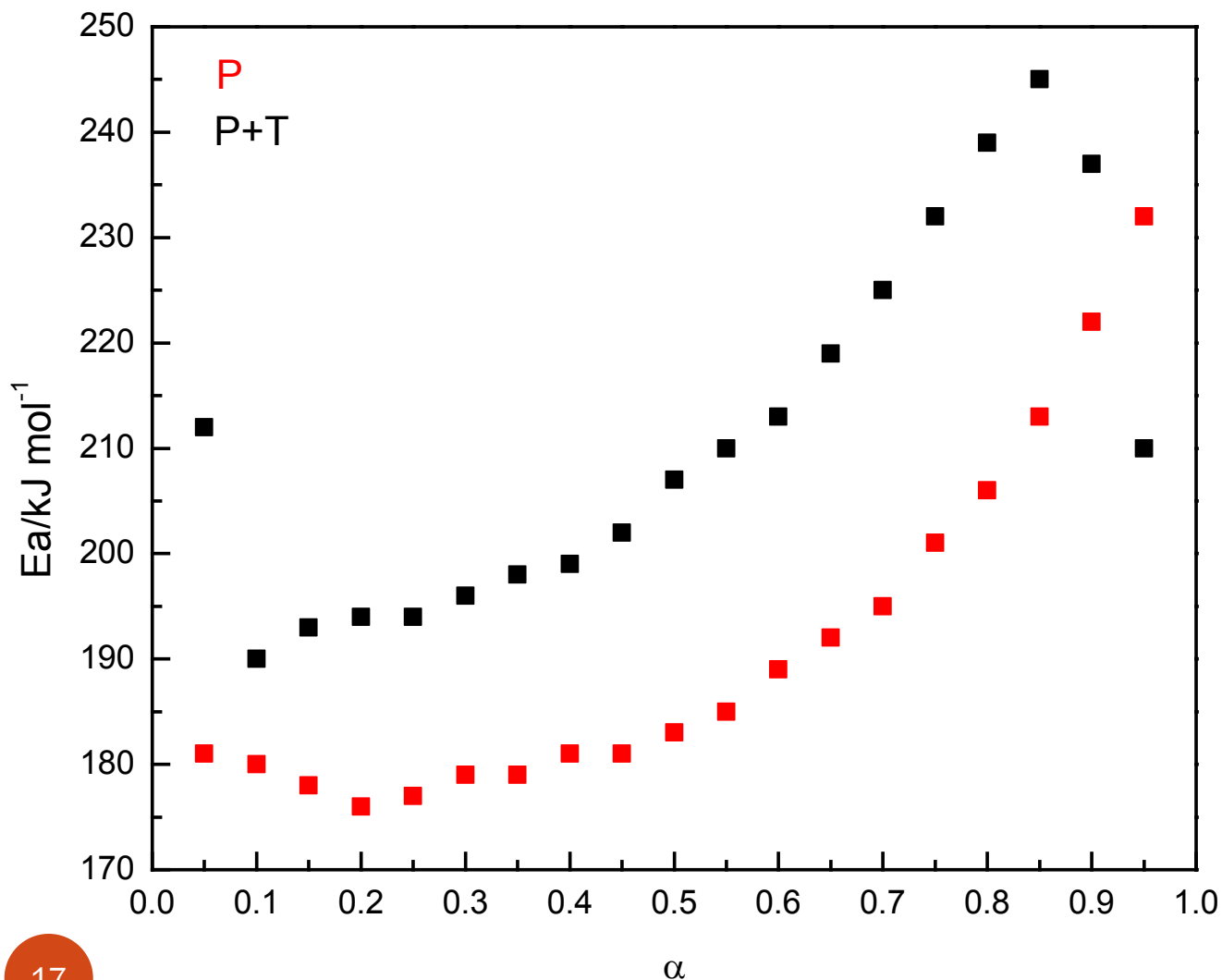


Peletizado e Torrefado



Estudo Cinético – Mistura

Método Local Linear Isoconversional Integral análogo ao
Método de Wanjun-Donghua

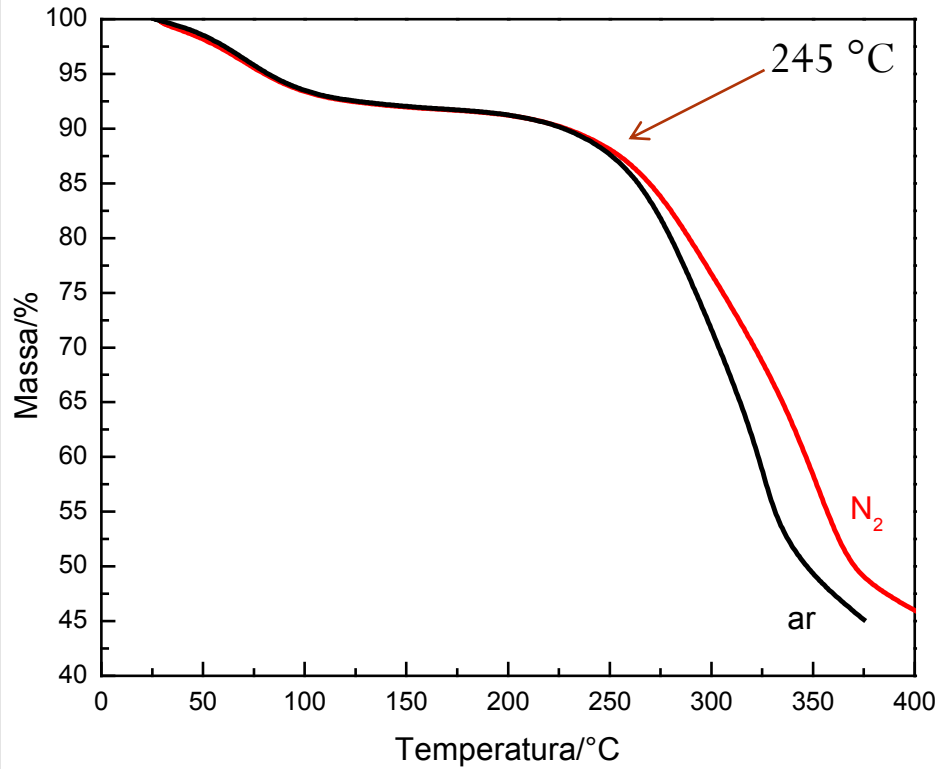


■ P – 191 kJ mol^{-1}

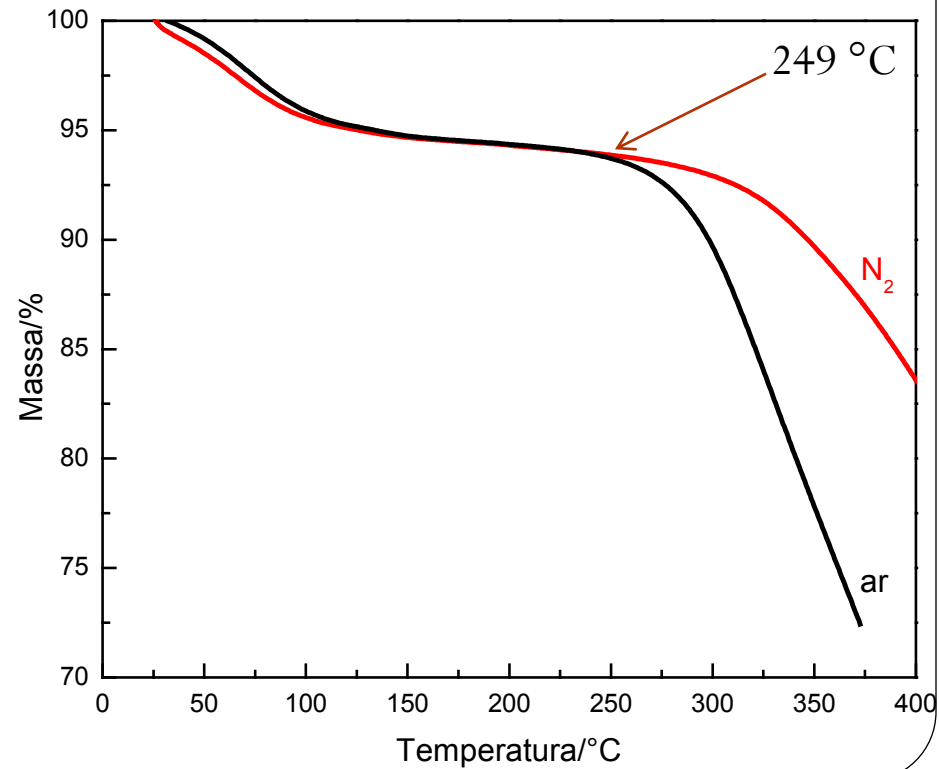
■ P+T – 211 kJ mol^{-1}

Mistura

Peletizado



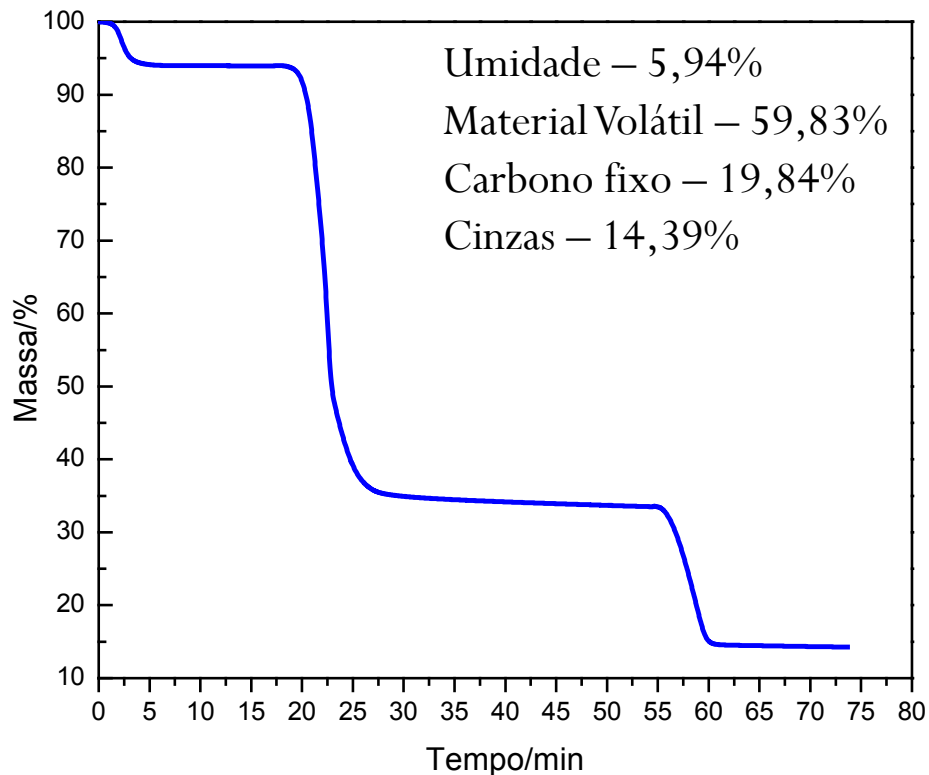
Peletizado e Torrefado



Uso local!

Mistura

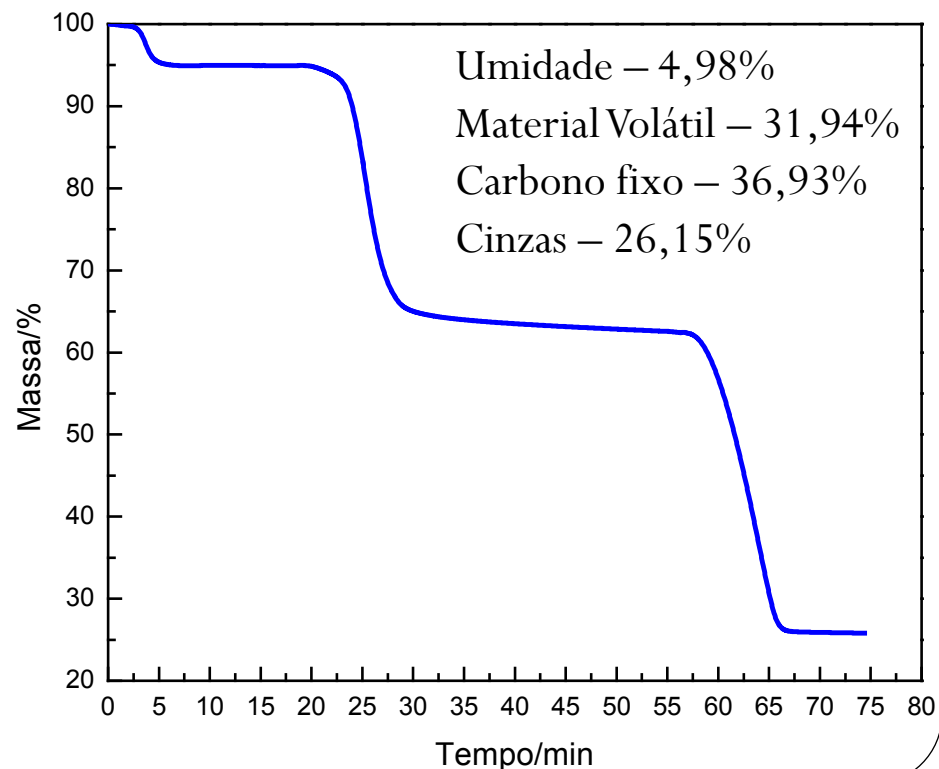
Peletizado



Lodo de Esgoto +
Bagaço de Cana¹

Umidade/%	6,9
Material Volátil/%	62,7
Carbono Fixo/%	14,5
Cinzas/%	15,9

Peletizado e Torrefado



Umidade



16,2%

Carbono Fixo



86,1%

Mistura

	Mistura		
	Lodo de Esgoto + Bagaço de cana ¹	Peletizado	Peletizado e Torrefado
PCS/MJ kg ⁻¹	16,6	16,22	17,81

↑ 10,8%

	PCS/MJ kg ⁻¹
Gás metano	55,53
GLP	49,12
Álcool hidratado	27,90
Carvão mineral	25,08

Uso
comercial!

Conclusão

- A peletização seguida de torrefação reduziu o teor de umidade em 16,2%, elevou o teor de carbono fixo em 86,1% e o Poder Calorífico Superior em 10,8% na Mistura.
- A Mistura peletizada apresentou uma energia de ativação média inferior a Mistura peletizada e torrefada (191 kJ mol^{-1} x 211 kJ mol^{-1})
- Para uso local pode-se optar pela peletização. Para uso comercial a peletização seguida de torrefação é mais indicada.
- A Mistura peletizada e torrefada pode ser aplicada como combustível sólido.
 - Facilidade no armazenamento e transporte.
 - Redução de custos com combustíveis não renováveis.
 - Minimização impactos ambientais.
 - Fim nobre aos resíduos.

Referências

- ANDREOLI, C. V. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 417 p.
- BASU, P. **Biomass gasification and pyrolysis: practical design and theory**. Burlington: Academic Press, 2010. 365 p.
- BRASIL. Presidência da República – Casa Civil. Lei nº 12.305, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 02 de agosto de 2010. Disponível em: <https://fd.com.br/catadores/pdf/politica_residuos_solidos.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2018.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2ª ed. Belo Horizonte: UFMG, 2016. 379p.
- CRUZ, G.; CRNKOVIC, P. M. Investigation into the kinetic behavior of biomass combustion under N₂/O₂ and CO₂/O₂ atmospheres. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**. v. 123, p. 1003-11, 2016.
- DIAS, D. S.; CRESPI, M. S.; TORQUATO, L. D. M.; KOBELNIK, M.; RIBEIRO, C. A. Torrefied banana tree fiber pellets having embedded urea for agricultural use. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 131, p. 705-712, 2018.
- GAO, N.; LI, J.; QI, B.; LI, A.; DUAN, Y.; WANG, Z. Thermal analysis and products distribution of dried sewage sludge pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 105, p. 43-48, 2014.
- JAYARAMAN, K.; GOKALP, I. Pyrolysis, combustion and gasification characteristics of miscanthus and sewage sludge. **Energy conversion and management**. v. 89, p. 83-91, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.
- NHUCHHEN, D.; BASU, P.; ACHARYA, B. A comprehensive review on biomass torrefaction. **International Journal of Renewable Energy and Biofuels**. 2014; DOI: 10.5171/2014.506376.
- PARIKH, J.; CHANNIWALA, S. A.; GHOSAL, G. K. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. **Fuel**, v. 84, n. 5, p. 487-494, 2005.
- PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; SOUSA, J. F.; PICKLER, A. C.; LEAL, E. R. M.; MILHOMEM, C. C. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato**. v. 16, p. 89-100, 2010.
- QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Calorific value of wood and wood residues. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.
- SAMOLADA, M. C.; ZABANIOTOU, A. A. Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to energy management in Greece. **Waste Management**, v. 34, p. 411-420, 2014.
- TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. New York: Ed. McGraw-Hill, 2002. 1334 p.
- TORQUATO, L. D. M.; BRAZ, C. E. M.; RIBEIRO, C. A.; CAPELA, J. M. V.; CRESPI, M. S. Kinetic study of the co-firing of bagasse-sludge blends. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**. v. 121, p. 499-507, 2015.
- VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Química Nova**. v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009.
- VON SPERLING, M.; ANDREOLI, C. V. Introdução. In.: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG, 2001. v. 6, cap. 1, p. 13-16

Agradecimentos

- Comitê científico – XI CBRATEC.
- Instituto de Química - UNESP
- Departamento Autônomo de Água e Esgotos de Araraquara/SP
- Minha orientadora Profa. Dra. Marisa Spirandeli Crespi
- Meus colaboradores: Me. Francisco Raimundo da Silva; Dr. Diógenes Santos Dias; Dra. Sonia Almeida.

Muito obrigado
Weverton Campos Nozela
wnozela@yahoo.com.br