



BALANÇO DE MASSA DO LODO ORGÂNICO PROCESSADO EM ABATEDOURO DE AVES ATRAVÉS DE MICRO-ONDAS

F. A. SILVA. JUNIOR¹, A. L. T FERNANDES¹, E. U. BUCEK¹

¹ Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional Engenharia Química da Universidade de Uberaba (PPGEQ_MP/UNIUBE)

RESUMO – *O lodo proveniente dos processos de produção de carnes de aves é rico em materiais orgânicos, que são de interesse como biomassa. Esses efluentes, na maioria das vezes, são classificados como resíduos, e geram custos para deposição e que consequentemente levam ao acúmulo desse material. Através do uso da irradiação pelas micro-ondas, onde ocorre a pirólise do lodo, que podem ser comercializados. Dentro desse contexto, o balanço de massa possui papel fundamental para o controle dos insumos provenientes desse processo. O objetivo deste trabalho foi realizar o processamento em forno micro-ondas de cavidade rotativa, do lodo orgânico obtido de abatedouros de aves, utilizando o balanço de massa do sistema para o controle de insumos gerados. Cinco amostras de lodo foram processadas pelas micro-ondas com 18,54 kg; 20,79 kg; 25,04 kg; 26,52kg e 30,5kg massa que foram colocados no forno; com variação de temperatura e tempo de exposição. Calcularam-se os gases (GC e GNC) +H₂O? através do balanço de massa. Os resultados obtidos demonstram que o percentual de GC+GNC+H₂O obtido varia conforme a massa de alimentação, a temperatura e o tempo de residência do lodo no forno micro-ondas.*

1. INTRODUÇÃO

A partir do produção do setor cárneo no Brasil, terá como consequência o aumento proporcional dos efluentes gerados pelos abatedouros, sendo este resíduos possuem uma carga elevada de matéria orgânica e microbiológica, os quais devem ser dispostos de maneira adequada atendendo as normas e legislações vigentes (Pardi et al., 2006). Os lodos destes efluentes, são ricos em materiais orgânicos de interesse como biomassa para agricultura, por ser uma fonte rica em carbono e em energia, intensificando a atividade biológica seguida de liberação de CO₂, como acontece com o lodo de unidades de curtume (Passianoto *et al.*, 2001).

O lodo proveniente de abatedouros de aves (denominado de lodo orgânico), quando destinado erroneamente sem tratamentos para ser utilizado como fertilizante, causam danos ao solo, à microbiota natural e ao lençol freático (Sena, 2009). Outra destinação comum para esse tipo de resíduo são os aterros sanitários. Uma das alternativas para o tratamento desse lodo é o tratamento térmico, seguido de outros processamentos que visam tornar esse material aplicável em diversos setores (Zanotto, et al, 2006). Nesse contexto, evidencia-se a necessidade de pesquisa e desenvolvimento para agregar valor a esse resíduo industrial (Fernandes Júnior e Mendes, 2006), sendo interessante o uso das micro-ondas no tratamento do lodo de abatedouros de aves.



Segundo Pereira e Pinho (2000), cada vez mais os fornos micro-ondas têm sido empregados no mercado. Na pirólise, o aquecimento pelas micro-ondas apresenta uma melhora na distribuição da temperatura, na taxa de aquecimento e no tempo de residência dos voláteis em comparação com o processo convencional de pirólise, sendo este uma alternativa tecnológica interessante sobre os processos convencionais, sob o ponto de vista da velocidade de processamento, bem como da qualidade dos produtos obtidos (Fernández *et al.*, 2011). Com isso, a destinação de resíduos e efluentes para reciclagem e obtenção de produtos ou subprodutos de interesse econômico vem sendo um desafio, gerando pesquisas que contribuem com esta meta, diminuindo a poluição e agregando valor aos resíduos, efluentes e seus subprodutos (Borges; Sellin; Medeiros, 2008).

O objetivo deste trabalho foi realizar o processamento pelas micro-ondas do lodo orgânico obtido de abatedouros de aves, utilizando o balanço de massa do sistema para o controle de insumos gerados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O forno micro-ondas utilizado foi construído com tecnologia ONDATEC, (ONDATEC S.A– Tecnologia Industrial em Micro-ondas, Uberaba), consiste de: um reator de cavidade sextavada e rotativa, de capacidade 0,02 m³; um sistema de separação e coletor de gases condensados e não condensados, e sistema de armazenamento de bio-óleo (Figura 1).

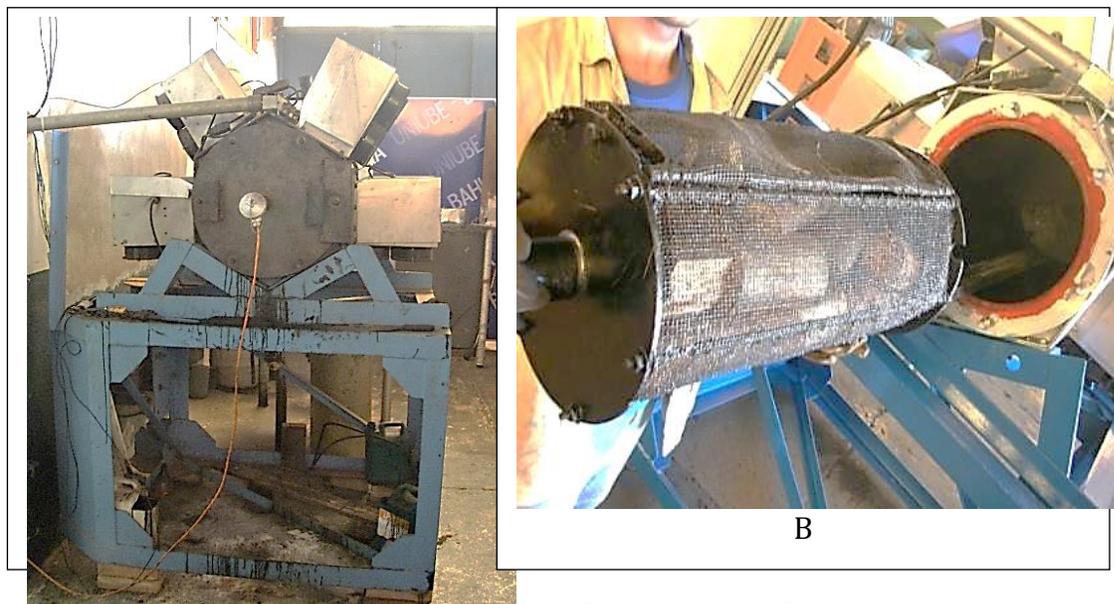


Figura 1 –Forno micro-ondas Ondatec®: estrutura do forno (1A); cavidade sextavada com cesto giratório (1B).

Fonte: Empresa Ondatec Tecnologia Industrial em Micro-ondas SA.

A disponibilidade do lodo orgânico para teste foi localizada em abatedouro de aves no Triângulo Mineiro. O lodo orgânico recebido consiste no resíduo depositado no fundo da lagoa

de decantação do efluente, em bombonas de 50 litros (L) (Figura 2), denominado de lodo orgânico não tratado



Figura 2 - Recebimento de bombonas
Fonte: Autor

O lodo não tratado foi submetido à secagem em exposição ao sol ao ar livre durante o dia e durante a tarde protegido por telha de alumínio, até a consistência semissólida, encaminhado a secagem à temperatura de 100°C, em forno micro-ondas (Modelo ONDATEC), sendo constituinte pelas seguintes amostras que foram revolvidas duas vezes ao dia, e homogeneizadas e fracionadas em lotes, sendo eles: lote 1 (B1 TP); lote 2 (B2 TP); lote 3 (B3 TP), lote 4 (B4 TP); lote 5 (B5 TP).

Para verificar o comportamento do material em estudo frente a irradiação não ionizante (as micro-ondas), os lotes de lodo orgânico secos à 100° C foram processados no equipamento micro-ondas (Modelo ONDATEC) em diferentes condições.

A fração do gás não condensável (GNC) foi armazenada a + 5°C em frascos de vidro âmbar, para o cálculo do balanço de massa, análise química posterior (trabalhos futuros). A fração condensável foi coletada e armazenada a temperatura ambiente em frascos de vidro âmbar, para o cálculo do balanço de massa, análise química posterior (trabalhos futuros). Do material processado e produzido e o alcatrão coletado e foi estimado o resultado tomando-se como base o balanço de massa e energia da etapa de pirólise. Durante a etapa de coleta dos gases, os mesmos foram devidamente acondicionados em recipiente de vidro, mantidos a uma baixa temperatura, utilizando-se gelo.

Após processamento do lodo orgânico pelas micro-ondas foram realizados os cálculos de balanço de massa, partindo da equação citar qual (Equação 1), considerando os fluxos de massa no sistema (entrada e saída) em peso (Kg) de acordo com o esquema representado na Figura 3.

De acordo com o diagrama representado na Figura 3, foram denominados os pontos de A até E como sendo:

- A: Peso da carga de efluente de lodo (Sem o peso do cesto vazio) em Kg;
- B: Ponto de drenagem do líquido logo abaixo do micro-ondas em Kg;
- C: Ponto de drenagem do líquido logo abaixo do micro-ondas em Kg;
- D: Peso de MA após etapa de pirólise em kg;
- E: Valor que foi calculado. Gases emitidos na pirólise em Kg.

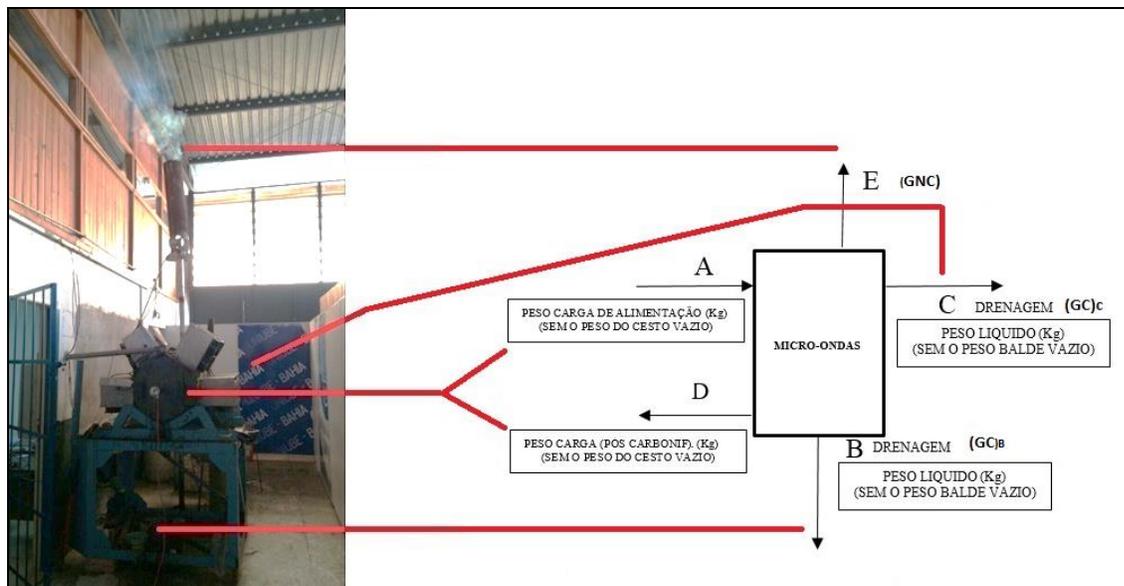


Figura 3 - Esquema das correntes usada no balanço de massa; (GNC) gases não condensáveis; (GC)B gases condensáveis coleta ponto B; (GC)C gases condensáveis coleta ponto C

Partindo do princípio de que o entro saiu, o cálculo do balanço de massa foi realizado de acordo com a equação:

$$\text{Lodo orgânico seco} = \text{Lodo tratado} + \text{GC} + \text{GNC} \quad (1)$$

Onde a quantidade de GNC será determinado por estimativa

$$\text{Lodo orgânico seco} - (\text{Lodo tratado} + \text{GC}) \quad (2)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizado o balanço de massa, utilizando os pesos de entrada, saída, peso dos líquidos de drenagem da frente e fundo obtendo-se (GC+GNC+H₂O) e a diferença foi o resultado que obtivemos da chaminé.

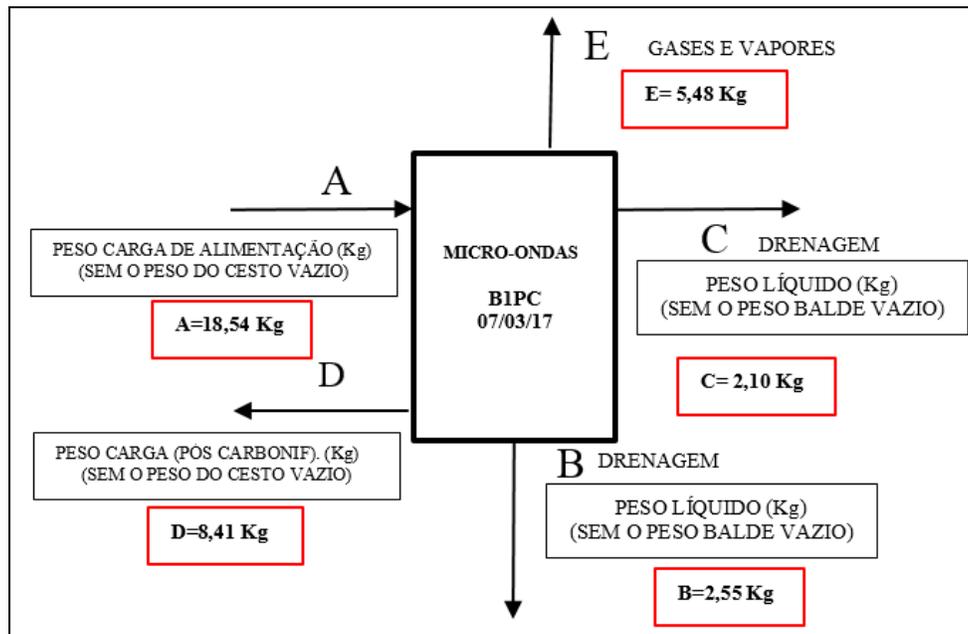


Figura 4 - Esquema do balanço de massa – B1PC

Calculando o balanço de massa para o experimento **B1PC**, para se obter a quantidade de gases e vapores na saída E temos:

MA= Somente o peso da carga de efluente de lodo (Sem o peso do cesto vazio) em Kg

MB= Ponto de drenagem do líquido logo abaixo do micro-ondas em Kg

MC= Ponto de drenagem do líquido logo abaixo do micro-ondas em Kg

MD= Peso de MA após etapa de pirólise em kg

ME= Valor a ser calculado. Gases emitidos na pirólise em Kg

$$MA=MB+MC+MD+ME$$

$$18,54=2,55+2,10+8,41+ME$$

$$ME=5,48 \text{ Kg}$$

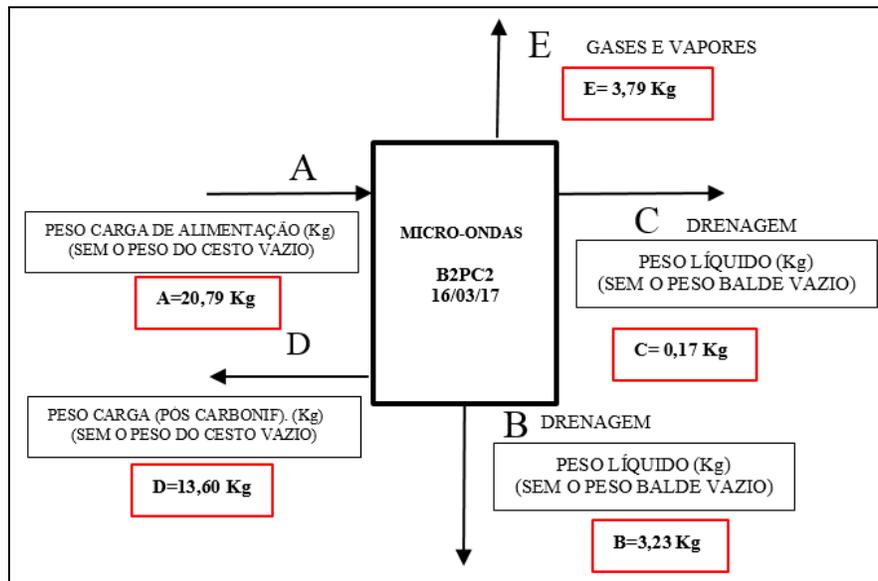


Figura 5 - Esquema do balanço de massa – B2PC2

Para se calcular a quantidade de gases e vapores na saída E, do experimento **B2 PC2** foi utilizada equação do balanço de massa, abaixo representada, sendo:

$$MA=MB+MC+MD+ME$$

$$20,79=3,23+0,17+13,60+ME$$

$$ME=3,79 \text{ Kg}$$

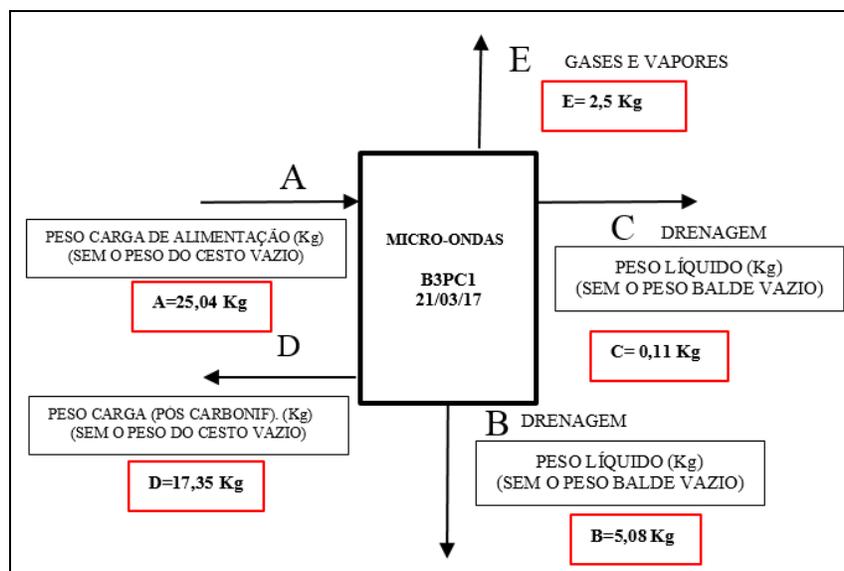


Figura 6 - Esquema do balanço de massa – B3PC1

Para se calcular a quantidade de gases e vapores na saída E, do experimento **B3 PC1** foi utilizada equação do balanço de massa, abaixo representada, sendo:



$$MA=MB+MC+MD+ME$$
$$25,04=5,08+0,11+17,35+ME$$
$$ME=2,5 \text{ Kg}$$

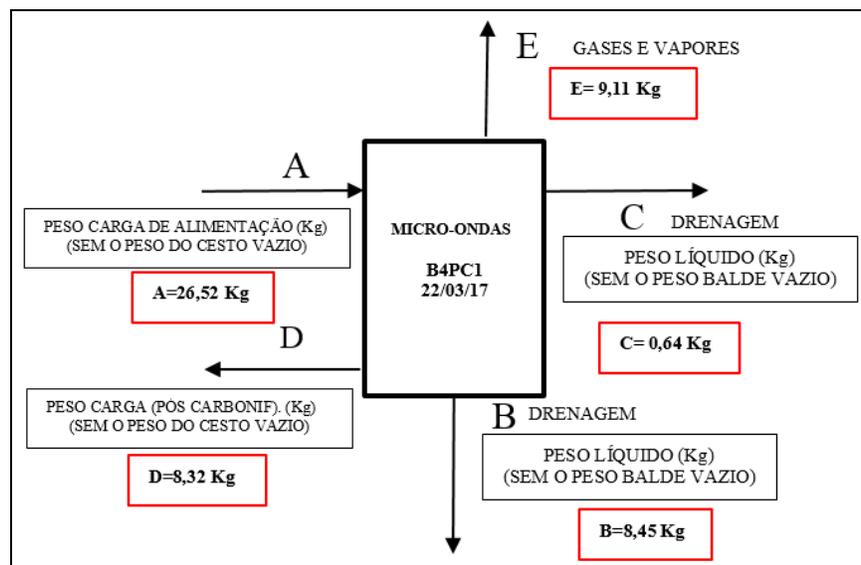


Figura 7 - Esquema do balanço de massa – B4PC1

Para se calcular a quantidade de gases e vapores na saída E, do experimento **B4 PC1** foi utilizada equação do balanço de massa, abaixo representada, sendo:

$$MA=MB+MC+MD+ME$$
$$26,52=8,45+0,64+8,32+ME$$
$$ME=9,11 \text{ Kg}$$

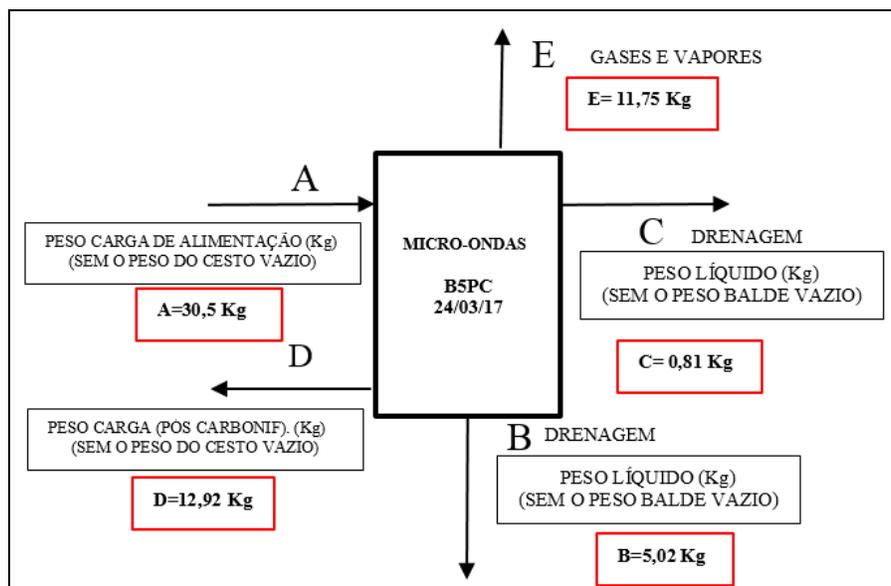


Figura 8 - Esquema do balanço de massa – B5PC

Para se calcular a quantidade de gases e vapores na saída E, do experimento **B5PC** foi utilizada equação do balanço de massa, abaixo representada, sendo:

$$\begin{aligned} MA &= MB + MC + MD + ME \\ 30,5 &= 5,02 + 0,81 + 12,92 + ME \\ ME &= 11,75 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Tabela 1 – Cenários obtidos a partir do balanço de massa

DATA	Nom.	Exp.	T °C	MA (Kg)	MB (Kg)	MC (Kg)	MD (Kg)	ME (Kg)	CENÁRIO 01 % Rend. sem gás	CENÁRIO 02 % Rend. com gás
	T1	B15TP	100							
07/03/17	T2	B1PC	220	18,54	2,55	2,10	8,41	5,48	45,36	74,92
21/03/17	T3	B3PC1	310	25,04	5,08	0,11	17,35	2,50	69,29	79,27
16/03/17	T4	B2PC2	401,5	20,79	3,23	0,17	13,60	3,79	65,42	83,65
22/03/17	T5	B4PC1	504	26,52	8,45	0,64	8,32	9,11	31,37	65,72
24/03/17	T6	B5PC	525	30,50	5,02	0,81	12,92	11,75	42,36	80,89

MA	Somente o peso da carga de efluente de lodo (Sem o peso do cesto vazio) em Kg
MB	Ponto de drenagem do líquido (H ₂ O) logo abaixo do micro-ondas em Kg
MC	Ponto de drenagem do líquido logo abaixo do micro-ondas em Kg



MD

Peso de MA após etapa de pirólise em kg

ME

Valor que foi calculado. Gases emitidos (GC e GNC) na pirólise em Kg

A tabela 01 apresenta os valores dos resultados obtidos a partir dos balanços de massa de 04 experimentos realizados no forno micro-ondas. O experimento B15TP (T1) significa a junção dos lotes de 01 a 05 que passaram por um tratamento prévio de secagem a céu aberto a uma temperatura de 100 °C.

Os experimentos de T2, T3, T4, T5 e T6 passaram pelo forno micro-ondas a temperaturas que variaram de 220 a 504 °C.

Foram utilizados 02 cenários, sendo o primeiro o balanço de massa, utilizando como resíduos os líquidos e gases. Já no Cenário 2, foi considerado como resíduo somente os líquidos, tendo em vista que os gases foram coletados e se verificará sua composição para se analisar se o mesmo poderá ser aproveitado.

4. CONCLUSÃO

Constatou-se a importância do balanço de massa do lodo orgânico processado em abatedouro de aves através do forno micro-ondas de cavidade giratória, pois através desta técnica conseguimos definir as melhores faixas de aproveitamento dos materiais em função faixas de temperatura testadas. O rendimento do cenário 01 variou de 31,37 a 69,29%. Já no cenário 02, com o aproveitamento dos gases foi maior, variando de 65,72 a 83,65%.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação Engenharia Química – Mestrado Profissional da UNIUBE e a Empresa Ondatec-Tecnologia Industrial em Micro-ondas (Uberaba-MG), por contribuir de forma efetiva a viabilidade de desenvolvimento desta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

BORGES, F.; SELLIN, N.; MEDEIROS, S. H. W. Caracterização e avaliação de lodos de efluentes sanitário e industrial como biomassa na geração de energia, *Ciência & Engenharia*, 17(1/2), 27 – 32, 2008.

FERNANDES JÚNIOR, J. F.; MENDES, O. **Gerenciamento de efluentes de abatedouros avícolas Estudo de caso.** Universidade Católica de Goiás – Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental 2006.

FERNÁNDEZ, Y; ARENILLAS, A; MENÉNDEZ, Á. **Microwave Heating Applied to Pyrolysis.** Instituto Nacional delCárbon, 2011.



PARDI, M. C.; SANTOS, I. F.; SOUZA, E. R.; PARDI, H. S. **Ciência, higiene e tecnologia da carne**. Goiânia, ed: 2 UFG; v.1 p. 624, 2006.

PASSIANOTO, C. C.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; LIMA, A. C. R.; LIMA, C. L. R. Atividade e biomassa microbiana no solo com a aplicação de dois diferentes lodos de curtume, **Rev. Bras. de Agrocência**, 7(2), 125-130, 2001.

PEREIRA, E.J.S; PINHO, J.T. **Forno industrial de micro-ondas de 3kW alimentado por magnetrons de uso doméstico**. Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas – GEDAE/DEEC/CT/UFGPA. 2000.

SENA, R. F. **tratamento de efluentes da indústria de processamento de carnes utilizando flotação por ar dissolvido e processos de oxidação avançada**. 141 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

ZANOTTO, D. L.; BELLAVER, C.; COLDEBELLA, A.; SCHEUERMANN, G. N.; CUNHA JUNIOR, A.; AJALA, L. C. **Flotado de efluentes de frigorífico de suínos e aves - 1. Composição química**. Circular Técnica – EMBAPA, Concórdia-SC, 2006. ISSN 0100-8862.