

III-018 – CONSTRUÇÃO DE UM REATOR PARA *BIODRYING*: UMA ALTERNATIVA PARA OS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS BRASILEIROS

Fernanda Feltrim⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR, Francisco Beltrão). Mestre em Engenharia Civil pela UTFPR (Curitiba). Doutoranda em Engenharia Civil pela UTFPR (Curitiba).

Juliana Lundgren Rose⁽²⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Estácio de Sá (UNESA, RJ) e Bióloga pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF, RJ). Mestre em Ciências Biológicas (Biofísica) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (IBCCF, UFRJ, RJ). Doutora em Engenharia Civil (Geotecnia Ambiental) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE, UFRJ, RJ). Pós-doutoranda do Programa de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR, Curitiba).

Ronaldo Luiz dos Santos Izzo⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade de Marília (UNIMAR, SP). Mestre em Engenharia Indústria pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP, Bauru, SP). Doutor em Engenharia Civil (Geotecnia Ambiental) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE, UFRJ, RJ). Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR, Curitiba).

André Bressiani Machado⁽⁴⁾

Engenheiro Ambiental pela UTFPR (Francisco Beltrão). Graduando em Agronomia pela União de Ensino do Sudoeste do Paraná.

Izadora Consalter Pereira⁽⁵⁾

Engenheira Ambiental pela UTFPR (Francisco Beltrão). Mestranda em Engenharia Civil pela UTFPR (Curitiba).

Endereço⁽¹⁾: Rua Eduardo Heitor de Alencar Furtado, 5000 – Ecoville – Curitiba – PR – CEP: 81280-340 - Brasil - Tel: (41) 3279-4500 - e-mail: fernandafeltrim@hotmail.com

Endereço⁽²⁾: Rua Eduardo Heitor de Alencar Furtado, 5000 – Ecoville – Curitiba – PR – CEP: 81280-340 - Brasil - Tel: (41) 3279-4500 - e-mail: izzo@utfpr.edu.br

Endereço⁽³⁾: Rua Eduardo Heitor de Alencar Furtado, 5000 – Ecoville – Curitiba – PR – CEP: 81280-340 - Brasil - Tel: (41) 3279-4500 - e-mail: julrose@gmail.com

Endereço⁽⁴⁾: Av. Presidente Kennedy, 2601 – Dois Vizinhos – PR – CEP: 85660-000 – Brasil – Tel: (46) 99116-6578 – e-mail: admachado94@yahoo.com.br

Endereço⁽⁵⁾: Rua Eduardo Heitor de Alencar Furtado, 5000 – Ecoville – Curitiba – PR – CEP: 81280-340 - Brasil - Tel: (41) 3279-4500 - e-mail: iza.consalter@hotmail.com

RESUMO

A produção de resíduos sólidos urbanos (RSU) é intensificada com o passar do tempo e sua destinação se torna um problema cada vez mais difícil de ser enfrentado. Atualmente, no Brasil, são poucas as técnicas difundidas para o tratamento de RSU, podendo ser citadas a compostagem e a reciclagem. Recentemente outras técnicas estão sendo desenvolvidas, principalmente aquelas que são voltadas para o aproveitamento energético dos resíduos, conhecida como “Waste to Energy”. Dentre as técnicas desenvolvidas, encontra-se o *biodrying*, o qual tem por objetivo secar os resíduos pelo processo exotérmico de degradação da matéria biodegradável em reatores. Este processo, combinado com injeção de ar no meio, faz com que haja redução do teor de umidade. São vários os resíduos que podem ser destinados para o processo, como o RSU, os resíduos de jardinagem e os lodos de estação de tratamento de esgoto. No que diz respeito aos reatores utilizados, eles podem ser tanto estáticos quanto dinâmicos, sendo os estáticos mais comuns. Porém, neste tipo de reator o material resultante é heterogêneo, ou seja, como dentro do reator o gradiente de umidade não é o mesmo para todos os pontos, o material resultante não tem umidade uniforme, interferindo, assim, no poder calorífico do material. Algumas técnicas para mitigar esta heterogeneidade, como inversão do fluxo de ar e utilização de reatores rotativos podem ser a solução para este problema. A prática da inversão do fluxo de ar ainda é pouco utilizada e o mesmo ocorre para como os tambores rotativos. A fim de deixar a literatura menos incipiente e testar a técnica do *biodrying* para os resíduos sólidos urbanos brasileiros foi construído um reator rotativo.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo Sólido Urbano, *Biodrying*, Reator, *Waste to Energy*, Poder Calorífico.

INTRODUÇÃO

Resíduos sólidos urbanos (RSU) são produzidos por atividades domésticas, comerciais e industriais e sua produção aumenta a cada dia. Devido a isso, sua gestão e eliminação se tornam um grande problema a ser enfrentado (FELTRIM et al., 2015). Atualmente no Brasil, as técnicas mais difundidas para o reaproveitamento dos RSU são a reciclagem e a compostagem, porém, a porcentagem de material que é enviada para esses processos é reduzida. Sendo assim, a maioria do RSU é destinado ao aterro sanitário/controlado, que nos dias atuais é a principal técnica de destinação final utilizada no País.

Nos dias de hoje, existem formas mais modernas e eficientes para o tratamento dos RSU, destacando-se àquelas que visam à utilização dos resíduos como combustível, ou seja, para a produção de energia, que em inglês é conhecida como “*waste to energy*” (WTE). Segundo Ouda e Raza (2014), WTE é uma opção comprovada e eficiente para tratar os desafios da eliminação dos RSU e tem a capacidade de suprir parte da crescente demanda global de energia.

Um exemplo de WTE é a biosecagem (do inglês *biodrying*). Esta técnica é uma opção para o reator de bioconversão em plantas de tratamento mecânico biológico (TMB), e é também uma alternativa significativa para o tratamento de RSU (VELIS et al., 2009; RADA et al., 2006).

Reatores de *biodrying* utilizam uma combinação de processos físicos e bioquímicos. No processo bioquímico, a biodegradação aeróbia da matéria orgânica facilmente degradada ocorre. Já, do lado físico, a remoção da umidade excessiva é obtida pela aeração controlada (VELIS et al., 2009). Muitas vezes o termo *biodrying* pode ser confundido com o termo compostagem. A principal diferença entre o *biodrying* e a compostagem é que o principal objetivo no *biodrying* não é maximizar o processo de degradação do material orgânico, mas apenas obter uma degradação necessária para gerar calor biológico para secar os resíduos (VELIS et al., 2009). O *biodrying* utiliza a geração de calor térmico devido à ação microbiana, enquanto que, em processos de secagem tradicionais, fontes externas de calor são utilizadas (RADA et al., 2007; RADA et al., 2010).

Para Tambone et al. (2011) a utilização de resíduos para a produção de combustível satisfaz dois objetivos diferentes: reduzir a quantidade de resíduos a serem enviados para aterros e fornecer um substituto ou um suplemento para os combustíveis fósseis convencionais.

Os resíduos que podem ser submetidos ao *biodrying* são os mais diversos, podendo ser citados resíduos de jardinagem (MENDOZA et al., 2013), resíduos sólidos urbanos (SKOURIDES et al., 2006; BARTHA e BRUMMACK, 2007; BARTHA, 2008; ZHANG et al., 2008a; RODRÍGUEZ et al., 2012; SOMSAI, TONDEE e KERDSUWAN, 2015; JALIL et al., 2015), lodo de estação de tratamento de esgoto (CAI et al., 2012; CAI et al., 2013), dentre outros.

No que diz respeito aos reatores, os mesmos podem ser estáticos ou dinâmicos (VELIS et al., 2009), sendo que os mais utilizados são os estáticos. No entanto, os reatores de *biodrying* estáticos enfrentam alguns problemas, como a heterogeneidade de secagem dos resíduos e, conseqüentemente, a interferência no poder calorífico e umidade resultante (TOM; PAWELS e HARIDAS, 2016; VELIS et al., 2009).

Desta forma, o presente estudo vem de encontro a essa problemática, propondo um reator de *biodrying* dinâmico para o tratamento dos RS produzidos no restaurante universitário da sede Ecoville (Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba, Paraná, Brasil), que vise reduzir a heterogeneidade da umidade da matriz resultante do processo de *biodrying*. Neste artigo foi tratado apenas a construção do reator para o processo de *biodrying*, sendo que os resultados obtidos com o reator serão divulgados em um outro momento.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

REATORES

Um *biodrying* ideal pode ser alcançado através da concepção de um reator eficaz. Os reatores de *biodrying* podem ser fechados, galpões abertos (estáticos) ou tambores rotativos (dinâmicos), no entanto, a maioria dos projetos comerciais de *biodrying* utilizam reatores estáticos (VELIS et al., 2009). Dentre os reatores estáticos é

possível encontrar diferentes designs de projetos (TOM, PAWELS e HARIDAS, 2016; SANTOSA et al., 2015; MENDOZA et al., 2013; RADA et al., 2006; ADANI et al., 2002). Por outro lado, a literatura sobre reatores dinâmicos ainda é incipiente (SKOURIDES et al., 2006; BARTHA e BRUMMACK, 2007; BARTHA, 2008; RODRÍGUEZ et al., 2012; SOMSAI, TONDEE e KERDSUWAN, 2015).

Apesar de os reatores de *biodrying* estáticos serem os mais utilizados comercialmente, os mesmos apresentam problemas, como a heterogeneidade de secagem dos resíduos e, conseqüentemente, a interferência no poder calorífico e umidade resultante (TOM; PAWELS e HARIDAS, 2016; VELIS et al., 2009). Dois modelos que propõe a solução para esses problemas são: (1) reatores rotativos de percussão (BARTHA e BRUMMACK, 2007; BARTHA, 2008 e SKOURIDES et al. 2006) e (2) projetos de fluxo de ar invertido (SUGNI, CALCATERRA e ADANI, 2005).

SUGNI, CALCATERRA e ADANI (2005) confirmaram que o fluxo unidirecional causa falta de homogeneidade no produto final, em relação ao poder calorífico e umidade. Para superar estes problemas os autores verificaram que invertendo diariamente o fluxo ar, observaram um material de saída do reator mais homogêneo em termos de umidade e energia.

ZHANG et al. (2008a), ZHANG et al. (2008b), ZHANG, HE e SHAO (2009) e ZHANG et al. (2011); realizaram ensaios em reatores de coluna em escala laboratorial (Figura 1). Cada coluna foi confeccionada com PVC, com diâmetro interno de 400 mm e altura de 1200 mm. Para o isolamento térmico cada coluna foi envolvida com algodão. Uma camada de 100 mm de esferas de porcelana foi colocada na parte inferior de cada coluna, objetivando a drenagem do lixiviado e melhor distribuição do ar. Acima desta camada foi adicionado uma grade (2 mm de malha) para suporte dos resíduos e também facilitar o arejamento. Uma vez os resíduos adicionados, foi inserido uma camada de palha e uma de algodão, com o objetivo de evitar a perda de calor e a condensação do vapor. A aeração foi realizada por uma bomba de hidromassagem e um medidor de fluxo de gás. Os autores em nenhum momento citaram alguma ação realizada que mitigasse gradientes de umidade e poder calorífico. No entanto, ZHANG et al. (2008a) relataram a eficácia na remoção de água, cerca de 78,5% da água inicial encontrada nos resíduos. Em outro estudo realizado por ZHANG et al. (2008b) a remoção de água variou entre 50,5% e 60,7%. ZHANG et al. (2011) verificaram um aumento significativo nos valores de poder calorífico inferior e redução no teor de água.

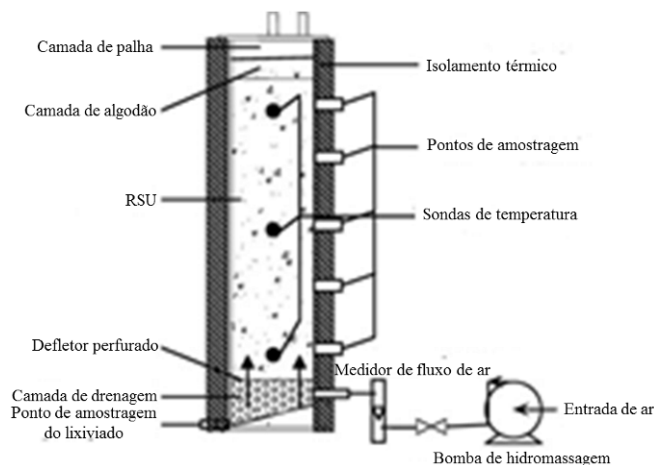


Figura 1: Representação esquemática do reator de *biodrying*.

Jalil et al. (2015) construíram um reator de polietileno de alta densidade para evitar a perda de calor durante o processo de *biodrying*, sendo o mesmo revestido de poliuretano. A capacidade do reator foi de 50 L com dimensões internas de 540 mm de comprimento, 345 mm de largura e 275 mm de altura. Um compressor de ar foi conectado no reator para a realização da ventilação. Apenas o monitoramento de temperatura foi realizado neste estudo. Os autores citam que para evitar gradientes de umidade os resíduos foram revolvidos manualmente a cada dois dias. Uma redução de 23,1% e 42,4% foram constatadas na umidade dos resíduos. Enquanto que, o poder calorífico teve um aumento significativo, passando de 960 para 2010 Kcal.kg⁻¹ e 1210 para 3420 Kcal.kg⁻¹. É possível verificar na Figura 2 o esquema do reator utilizado no estudo.

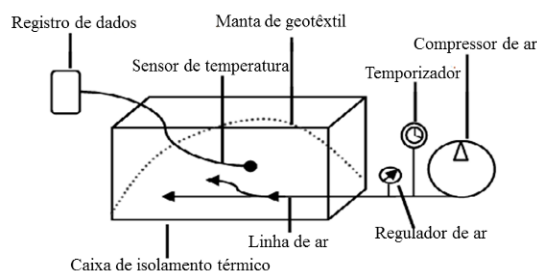


Figura 2: Esquema de um reator de *biodrying* em escala laboratorial.

Uma caixa adiabática com aproximadamente 1 m³ e com sistema de coleta de lixiviado foi utilizada por Rada et al. (2006) (Figura 3). Antecedendo a entrada de ar no reator, o mesmo foi filtrado seguindo para uma eletroválvula instalada como regulador de fluxo e finalmente um medidor. O ar entra pela parte inferior da caixa, através de um difusor de ar, e saída pela parte superior seguindo para a atmosfera. O monitoramento foi realizado por sensores de temperatura instalados em vários pontos do reator. Neste estudo os autores não se atentaram ao quesito de heterogeneidade dos parâmetros umidade e poder calorífico do produto final. Os autores verificaram que com 50% e 29% de conteúdo de fração orgânica, o poder calorífico inferior foi alterado de 8600-12500 kJ.kg⁻¹ e 9600-13700 kJ.kg⁻¹.



Figura 3: Reator utilizado para as corridas experimentais.

Reatores com tambores plásticos cilíndricos foram construídos por Mendoza et al. (2013) possuindo diâmetro de 40 cm e 62 cm de altura, adicionando fibra de vidro ao redor e no topo do reator (Figura 4). O fluxo de ar foi fornecido por ventiladores no fundo dos reatores. Cada reator tinha capacidade para 25 L, dividido em dois compartimentos, sendo a parte de baixo ocupada por quatro difusores. Foi adicionado uma grade de metal horizontalmente, a qual separou a parte inferior e superior, mantendo a massa de resíduos. A temperatura foi aferida por uma sonda, os outros parâmetros de monitoramento foram os gases de saída do reator, pH e volume de lixiviado. Os autores não abordaram ações para que os gradientes de umidade e poder calorífico fossem reduzidos. No entanto, relataram que quanto menor for a umidade dos resíduos, mais elevado é o poder calorífico inferior. Incrementos de poder calorífico variaram da casa de 172% a 419%, sendo que a perda de umidade variou de 19,99% a 43,78% (sem adição de resíduos de poda) e de 50,17% a 68,94% (com adição de resíduos de poda).

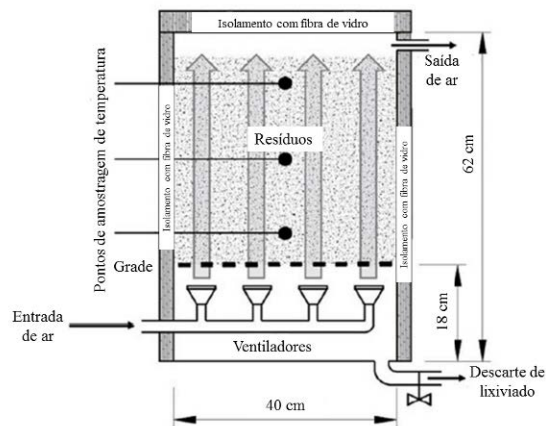


Figura 4: Esquema dos reatores utilizados.

Um reator de *biodrying*, que segundo os autores Tom, Pawels e Haridas (2016) é de design inovador, consistia em uma câmara cilíndrica com dimensões de 60 cm de diâmetro e 200 cm de altura, confeccionado com material acrílico (Figura 5). O reator tem capacidade de 565 cm³ de RSU. A unidade do reator de *biodrying* consistia em três componentes estruturais. O primeiro é a câmara de fundo perfurado para o fornecimento uniforme do ar. A câmara inferior é fabricada em aço revestido de fibra, que é fixa. O segundo componente estrutural é a câmara de acrílico que detém a matriz. A câmara de ar de topo removível, de 40 cm de altura é o terceiro componente estrutural da unidade de reator de *biodrying* que está unida na parte superior do reator para manter os gases de escape. Para minimizar a perda de calor o reator foi revestido com fibra. O fluxo de ar foi fornecido a partir da câmara de entrada inferior para a parte superior do reator. Sensores de temperatura e umidade foram instalados. Os autores verificaram a não produção de lixiviados, sendo essa a principal conquista, no entanto, não faz nenhuma citação sobre o material biosecado apresentar heterogeneidade no quesito umidade e poder calorífico. Os autores obtiveram uma redução de 20,81% no teor de umidade, verificaram que o perfil de umidade dentro do reator não é homogêneo atribuindo a isso a condensação da água evaporada a qual volta para o topo do reator.

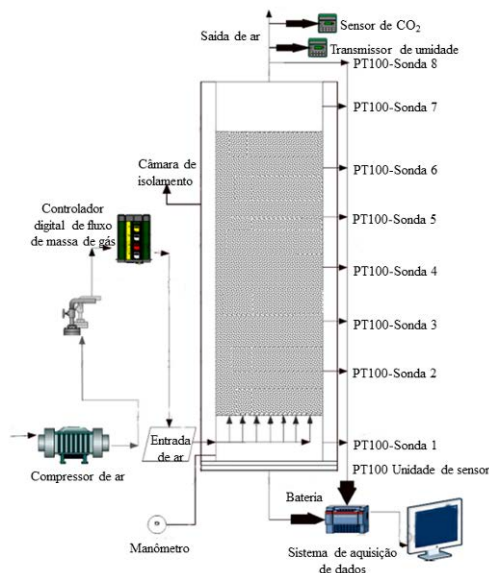


Figura 5: Diagrama esquemático do reator de *biodrying* com design inovador.

Velis et al. (2009) redesenharam o sistema de reator proposto por Frei et al. (2004) (Reator A) e Bartha (2008) (Reator B). Os reatores foram desenvolvidos em escala de bancada e piloto, com o objetivo de mitigar a secagem desuniforme da matriz de resíduos. O reator A é uma célula estática fechada com tubos perfurados. O tubo C2 alterna sopro/sucção de ar através da matriz, uma vez, que C2 e C3 operam inversamente. O reator B é um reator de tambor rotativo cilíndrico com um tubo perfurado para entrada de ar. Alguns pontos de

monitoramento são mostrados: T: temperatura: 1-7 interna, saída do ar, pressão, umidade relativa, taxa de ar e ventilador (Figura 6).

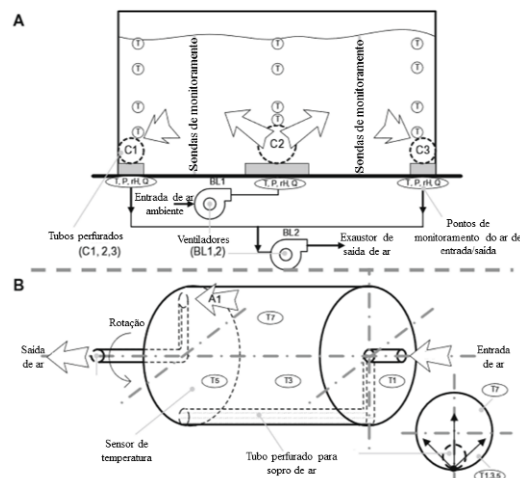


Figura 6: A) Esquema do reator de *biodrying* proposto por Frei et al. (2004, apud VELIS et al., 2009). B) Esquema do reator de *biodrying* proposto por Bartha (2008, apud VELIS et al., 2009).

Herhor Ambiental (sem data, apud Velis et al., 2009) descreveram dois reatores baseados em sistemas de escala real. O primeiro é uma caixa de *biodrying* com circulação de ar e desumidificação, baseado em um sistema Herhof. O processo consiste em uma caixa fechada (1) com injeção de ar forçado através da matriz de resíduos (2), a qual é aquecida pela biodegradação aeróbia exotérmica de resíduos facilmente degradáveis. O sistema também conta com a coleta do lixiviado produzido durante o processo e sistema de circulação (3). A aeração forçada é constituída na recirculação parcial de ar, misturando ar ambiente e um processo de ar condicionado. O sistema também conta com um permutador de calor (5), com uma torre de resfriamento do ar (6), uma caixa para armazenar a água (vapor condensado) (7) e por fim um dispositivo para o tratamento do ar de exaustão por um biofiltro ou oxidação térmica regenerativa (8). A umidade evaporada é removida pela convecção do ar, obtida por arejamento forçado. O ar de exaustão passa por várias fases de tratamento que melhoram a sua capacidade de secagem (capacidade de transportar umidade) antes de ser recirculado em parte para dentro do reator, depois de ser misturado com o ar ambiente (Figura 7).

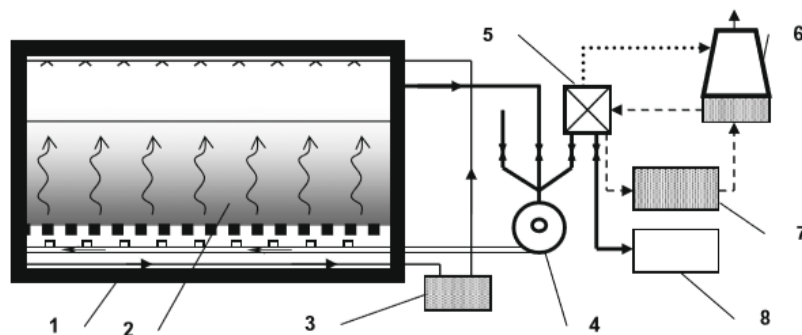


Figura 7: Esquema do reator de *biodrying* Herhof.

Como já dito, e anteriormente demonstrado, os reatores se resumem a estáticos e dinâmicos. São poucos os reatores desenvolvidos com caráter inovador na questão de redução da heterogeneidade do produto biosecado. Neste viés, é de fundamental importância a inovação em reatores dinâmicos, devido a intensificação da homogeneização dos resíduos de saída do processo.

CONSTRUÇÃO DO REATOR DE *BIODRYING* DESTA PESQUISA

Para a construção do conjunto de reatores, três tambores de metal reciclados foram utilizados. A configuração dos três reatores é igual, sendo aqui explicada apenas a configuração de um reator. Os tambores possuem 88 cm de comprimento e 58 cm de diâmetro, conforme especificado na Figura 8.

Na parte interna do tambor, fixou-se 4 chapas de ferro com 5 cm de largura e 3 mm de espessura com o objetivo de reforço e função de chicanas para a mistura dos resíduos (Figura 8).

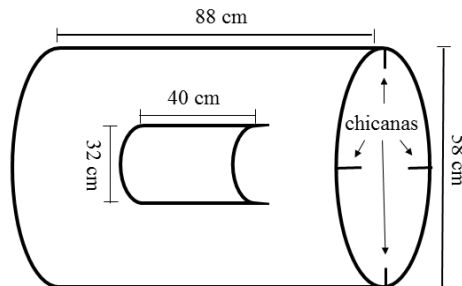


Figura 8: Dimensões dos tambores utilizados para a confecção do reator e disposição das chicanas

Para a movimentação do tambor, estabeleceu-se um eixo central fixo, pelo qual a instrumentação foi possível. Um eixo de diâmetro interno de 34,35 mm e diâmetro externo de 42,65 mm foi transpassado entre dois furos feitos na parte superior e inferior do tambor.

Utilizou-se como sistema de rolamento do tambor um rolamento de 45 mm acoplado em um mancal de parede. Para que os três tambores girassem no mesmo instante e com a mesma rotação foi fixado no conjunto de mancal nos tambores 1 e 2, dois discos para corrente dentada, sendo que no tambor 3 foi fixado um disco para corrente dentada (Figura 9).



Figura 9: Vista lateral do tambor. Cantoneiras para reforço com conjunto de mancal, rolamento e discos para corrente.

A parte de movimentação do conjunto ficou sob responsabilidade de um motor VOGES de indução monofásico, 1 cv de potência e 1745 rpm. Devido à alta rotatividade do motor foi necessária uma redução, sendo a mesma de 60/1 rpm, resultando em 20 rpm.

Para que não houvesse a troca de calor entre o tambor e o meio foi necessário executar o isolamento dos tambores. Para isso, foram utilizadas duas camadas de cortiça de 6 mm cada, coladas entre si e ao tambor, e abraçadeiras de nylon para garantir a fixação das mesmas no lugar determinado (Figura 10).



Figura 10: Reatores com duas camadas de cortiça para isolamento térmico.

O sistema de aeração foi realizado a partir de um compressor de ar, e controlado por um regulador de pressão com filtro (Figura 11A). Depois de o ar passar pelo regulador, o mesmo atravessou dois filtros de ar confeccionados com frasco reagente e algodão com o objetivo de desumidificar o ar passante (Figura 11B). Em seguida o ar foi enviado para os três tambores, sendo que para regular o fluxo de ar passante para cada tambor foram utilizadas válvulas reguladoras de pressão tipo agulha (Figura 11C), possibilitando trabalhar com diferentes taxas de ar. A entrada e saída de ar dos reatores foram confeccionadas com tubos de metal de ½ polegada (Figura 11D).



Figura 11: Da esquerda para a direita: A) Regulador de pressão. B) Filtro (frasco reagente+algodão). C) Válvula Reguladora. D) Sistema de entrada e saída de ar.

O sistema de monitoramento do processo de *biodrying* consistiu em dois sensores em cada reator, um de temperatura (Figura 12A) e outro de umidade (Figura 12B). Os sensores foram acoplados dentro dos reatores, de forma a ficar em contato com o resíduo. Os sensores foram conectados ao arduino, um sistema de aquisição de dados de baixo custo, realizando, dessa forma, o monitoramento contínuo da temperatura e umidade.

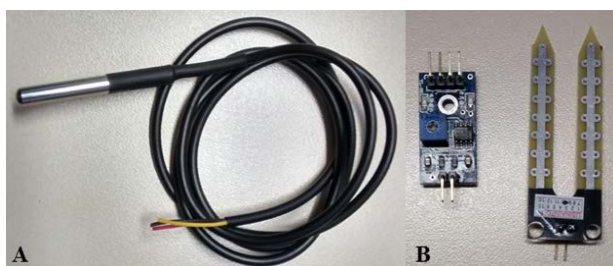


Figura 12: Da esquerda para a direita: Sensor de temperatura. Sensor de umidade.

Para a união dos três reatores foi confeccionado uma espécie de mesa com dimensões de 302 x 115 cm e 110 cm de altura. Os reatores foram dispostos sobre esta mesa com espaçamento entre os eixos de 84 cm. A visão geral do equipamento pode ser observada na Figura 13.



Figura 13: Visão geral do equipamento.

CONCLUSÃO

É de extrema importância a pesquisa em técnicas inovadoras que visam o aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos, principalmente como fonte de energia. Verificando o processo de *biodrying*, detectou-se que o principal problema dos reatores estáticos, que são os mais utilizados atualmente, consiste na heterogeneidade do produto de saída nos aspectos umidade e poder calorífico. Espera-se que o reator rotativo construído atenda a essa problemática e cumpra de maneira eficiente o objetivo pelo qual foi construído, ou seja, pode ser utilizado em resíduos brasileiros, produzir um material mais homogêneo em termos de umidade e poder calorífico.

CONSIDERAÇÕES

A construção do reator de *biodrying* é a fase inicial de um projeto de doutorado desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). O projeto se encontra em andamento, sendo avaliado o comportamento do reator com diferentes gravimetrias, diferentes taxas de aeração e diferentes tempos de rotação. Parâmetros como temperatura e umidade serão monitorados constantemente e análises de poder calorífico, umidade e série de sólidos também serão avaliadas tanto no material de entrada e quanto no de saída.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADANI, F. et al. *The Influence of Biomass Temperature on Biostabilization–biodrying of Municipal Solid Waste*. *Bioresource Technology*, v. 83, n. 3, p. 173-79, 2002.
2. BARTHA, B., BRUMMACK, J. *Investigations on the separability of dynamically dried municipal solid waste*. In: Kuehle-Weidemeir, M. (Ed.), *International Symposium MBT*, Hanover, Germany 22–24 May 2007, p. 350–360.
3. BARTHA, B.K., 2008. Development of a Control Strategy for the Treatment of Biological Waste in a Dynamic Reactor. Ph.D. Thesis, Technische University at Dresden, p. 265.
4. CAI, L. et al. *Moisture variation associated with water input and evaporation during sewage sludge biodrying*. *Bioresource Technology*, v. 117, p. 13–19, 2012.
5. CAI, L. et al. *Influence of forced air volume on water evaporation during sewage sludge biodrying*. *Water Research*, v. 47, p. 4767-4773, 2013.
6. FELTRIM, F. et al. *Effect of the MSW Leachate in the Traction Strength of the Soft Plastic*. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, v. 20, p. 12405-12420, 2015.
7. JALIL, N. A. A. et al. *The potential of biodrying as pre-treatment for municipal solid waste in Malaysia*. *Journal of Advanced Review on Scientific Research*, v. 7, n.1, p. 1-13, 2015.
8. MENDOZA, F. J. C. et al. *Effect of airflow on biodrying of gardening wastes in reactors*. *Journal of Environmental Sciences*, v, 25, n. 5, p. 865–872, 2013.
9. OUDA, O. K. M., RAZA, S. A. *Waste-to-Energy: Solution for Municipal Solid Waste Challenges-Global Perspective*. In: *International Symposium on Technology Management and Emerging Technologies*, May 27 - 29, 2014, Anais... Bandung, Indonésia, 2014. P. 270-274.

10. RADA, E. C. et al. *Experimental characterization of municipal solid waste bio drying. Transactions on Ecology and the Environment*, v. 92, p. 295-302, 2006.
11. RADA, E. C. et al. *Lower Heating Value Dynamics during Municipal Solid Waste Bio-Drying. Environmental Technology*, v. 28, n. 4, p. 463-469, 2007.
12. RADA, E.C. et al. *Bio-Drying role in changeable scenarios of Romanian MSW management. Waste Biomass Valor*, v. 1, n. 2, p. 271-279, 2010.
13. RODRÍGUEZ, L. et al. *Domestic sewage sludge composting in a rotary drum reactor: Optimizing the thermophilic stage. Journal of Environmental Management*, v. 112, p. 284-291, 2012.
14. SANTOSA, S. et al. *Design of Biodrying Msw reactor. International Journal of Engineering Research and Development*, v. 11, n. 12, p. 36-43, 2015.
15. SKOURIDES, I. et al. *Optimisation of advanced technology for production of consistent auxiliary fuels from biodegradable municipal waste for industrial purposes. In: Waste 2006 – Sustainable Waste and Resource Management*, Stratford-upon-Avon, UK, 19–21, 2B–14, 40.
16. SOMSAI, K.; TONDEE, T.; KERDSUWAN, S. *Effect of pile height on heat generated during rotary bio-drying process for municipal solid waste (MSW). International Journal of Applied and Physical Sciences*, v. 1, n. 3, p. 67-78, 2015.
17. SUGNI, M.; CALCATERRA, E.; ADANI, F. *Biostabilization–biodrying of Municipal Solid Waste by Inverting Air-flow. Bioresource Technology*, v. 96, n. 12, p. 1331-337, 2005.
18. TAMBONE, F. et al. *Effects of biodrying process on municipal solid waste properties. Bioresource technology*, v. 102, n. 16, p. 7443-7450, 2011.
19. TOM, A. P., PAWELS, R.; HARIDAS, A. *Biodrying process: A sustainable technology for treatment of municipal solid waste with high moisture content. Waste Management*, v. 49, p. 64–72, 2016.
20. VELIS, C. A. et al. *Biodrying for mechanical–biological treatment of wastes: a review of process science and engineering. Bioresource Technology*, v. 100, n. 11, p. 2747-2761, 2009.
21. ZHANG, D. Q. et al. (a). *Biodrying of municipal solid waste with high water content by combined hydrolytic-aerobic technology. Journal of Environmental Sciences*, v. 99, p. 1534–15400, 2008.
22. ZHANG, D. Q. et al. (b). *Bio-drying of municipal solid waste with high water content by aeration procedures regulation and inoculation. Bioresource Technology*, v. 99, p. 8796-8802, 2008.
23. ZHANG, D. Q., HE, P. J., SHAO, L. M. *Sorting efficiency and combustion properties of municipal solid waste during bio-drying. Waste Management*, v. 29, p. 2816-2823, 2009.
24. ZHANG, D. Q. et al. *Evolution of heavy metals in municipal solid waste during bio-drying and implications of their subsequent transfer during combustion. Waste management*, v. 31, p. 1790-1796, 2011.