

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

ESTABILIZAÇÃO DE FEZES HUMANAS ATRAVÉS DE COMPOSTAGEM EM REGIME DE BATELADA

*Thais Cardinali Rebouças¹
Karla Santos Limoeiro¹
Gabriel Hector Fontana¹
Caio Cardinali Rebouças¹
*Ricardo Franci Gonçalves¹

STABILIZATION OF HUMAN FECES BY COMPOSTING
SCHEME IN BATCH

Recibido el 18 de marzo de 2011; Aceptado el 28 de junio de 2011

Abstract

The Ecological Sanitation (Ecosan) refers to the residuary waters management system focusing in a principle of recycle the water and the nutrients back to their generating source. Segregate faeces and urine, avoiding their mixture, is one of the Ecosan's basics markings. The human faeces obtained after the segregation have valuable qualities for soil improvement, however the main abstraction in this nutrients recycling is the association with enteric pathogens. The composting is the most common treatment to reach a disinfection of the faeces when the goal is its application as soil conditioner. In this sense, the objectives were characterize the excreta under a physico-chemical and biological's view; study the optimum conditions of composting human faeces with carbonaceous addition from sawdust and confirm the quality of the final compost to application on soil. The used methodology was separated in two stages: I. faeces quali-quantitative characterization and II. human faeces composting by application of three sawdust's proportions. The obtained result was the temperature over than 50°C and a reduction of *Escherichia coli* to not detectable levels.

Key Words: *Ecological Sanitation; Human Faeces; Composting; Reuse.*

¹Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

* *Corresponding author:* Av. Fernando Ferrari, S/N Goiabeiras - Vitória – ES, CEP: 29060-970 – Brasil. Email: franci@npd.ufes.br, thaiscardinali@gmail.com

Resumo

O Saneamento Ecológico (Ecosan) se refere ao sistema de gestão de águas residuárias focalizado no princípio de reciclar ao máximo a água e os nutrientes de volta a fonte geradora. Uma das características básicas dos projetos de Ecosan é a segregação da urina e das fezes evitando-se que elas sejam misturadas. As fezes humanas obtidas após a separação possuem qualidades valiosas para a melhoria do solo, entretanto a principal preocupação na reciclagem dos seus nutrientes é a associação desta fração a agentes patogênicos de origem entérica. A compostagem é o tratamento mais comum para se obter a desinfecção das fezes quando se tem por objetivo sua aplicação como condicionante do solo. Diante do contexto apresentado, os objetivos foram caracterizar as fezes sob o ponto de vista físico-químico e biológico; estudar as condições ótimas de compostagem de fezes humanas com suplemento carbonáceo a partir de serragem e verificar a qualidade do composto gerado para aplicação no solo. A metodologia utilizada foi dividida em duas etapas: I. caracterização quali-quantitativa das fezes e II. compostagem das fezes com aplicação de três proporções de serragem. O resultado obtido foi a obtenção de temperaturas acima de 50°C e redução de *Escherichia coli* a níveis não detectáveis.

Palavras chave: Saneamento Ecológico; Fezes Humanas; Compostagem; Reúso.

Introducción

A falta de acesso a instalações sanitárias adequadas e a eliminação de forma imprópria das excretas humanas geram sérias implicações para a saúde humana e o meio ambiente. Em todo o mundo, estima-se que 2,5 bilhões de pessoas defecam a céu aberto ou em locais insalubres (WHO, 2008). Os riscos à saúde pela deficiência nos sistemas de saneamento são principalmente provocados pela falta de tratamento das fezes, portanto, a sua coleta e o seu tratamento são de grande importância para a conservação da saúde de qualquer comunidade, sobretudo daquelas que utilizam as excretas humanas na agricultura.

O sanitário compostável (*composting toilet*) tem sido amplamente discutido como uma opção adequada à melhoria dos serviços de saneamento, pois assegura a separação higiênica das excretas do contato humano, além de ser uma tecnologia simples e de baixo custo. As características básicas do sanitário compostável são a segregação entre as fezes e a urina e a posterior coleta das fezes, permitindo a ciclagem de nutrientes e prevenindo a dispersão descontrolada de patógenos e de contaminantes.

Enquanto a urina contém poucos patógenos e pode ser facilmente desinfetada por estocagem (Höglund, 2001; Schönning; Stenström, 2004), as fezes apresentam risco higiênico por conter possíveis organismos patogênicos. Uma vez separadas, é possível mitigar as impurezas e aproveitar todos os nutrientes presentes nas excretas. Neste sentido, a compostagem é o tratamento mais comum para se obter a desinfecção das fezes e consiste em um processo de bio-oxidação de um composto orgânico por um conjunto de microrganismos, que tem por resultado final água, CO₂ e matéria orgânica estabilizada. No entanto, até a presente data, dados sobre tratamentos eficazes, simples e de baixo custo para reúso de fezes humanas com segurança são escassos na literatura.

Objetivos

Diante do contexto apresentado, o objetivo do trabalho foi estudar as características físico-químicas e biológicas das fezes humanas, assim como caracterizar a sua produção e estudar o seu tratamento através da compostagem buscando o desenvolvimento de soluções tecnológicas alternativas aos sistemas convencionais.

Metodologia empregada

Caracterização quali-quantitativa das fezes humanas

Para caracterizar as fezes humanas sob o ponto de vista físico-químico e biológico, foram construídos vasos sanitários que não utilizam água e possuem sistema de segregação entre as fezes e a urina, que consiste em suporte de aço com sacola plástica e contêiner que é conectado a um reservatório temporal através de uma mangueira. Os sanitários foram instalados nos banheiros da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em Vitória no Brasil. Após utilização do sanitário, as amostras eram encaminhadas ao laboratório para pesagem e análise dos parâmetros. Foram analisados os seguintes parâmetros físico-químicos e microbiológicos: peso úmido das fezes, pH, NTK, fósforo e potássio total, sólidos totais, voláteis e fixos, carbono orgânico e DQO, coliformes totais, *E. coli* e ovos de helmintos. As técnicas analíticas obedeceram aos procedimentos recomendados pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 21ª edição (APHA *et al.*, 2005).

Compostagem

A coleta de fezes para a compostagem foi feita através da parceria com o Laboratório Central da Secretaria Municipal de Saúde e um laboratório particular da cidade de Vitória – ES. Foram coletadas amostras de ambos os sexos, variadas faixas etárias, situação econômica e grau de escolaridade. A compostagem foi realizada em reatores de 40 L, de fibra de vidro e revestidos com poliestireno expandido para evitar perda de calor, com espessura de 25 mm, tendo dimensão interna de 395x305x350 mm. Na base do reator foi inserido um tubo de PVC perfurado com 30 mm de diâmetro para proporcionar aeração e na tampa, um furo de 20 mm de diâmetro para a saída do ar. A Tabela 1 apresenta as condições experimentais estudadas.

Tabela 1. Condições experimentais dos três testes de compostagem de fezes humanas com serragem

Reator	F/S (%)	Fezes (kg) ⁽¹⁾	ST ⁽²⁾ fezes (kg)	Serragem (kg) ⁽¹⁾	ST ⁽²⁾ serragem (kg)
R1	60	4,0	0,73	1,4	1,25
R2	40	4,0	0,73	2,0	1,79
R3	30	4,0	0,73	2,6	2,33

Legenda: (1) peso úmido; (2) ST é sólidos totais

O número de repetições realizadas foi: reator 1 e 2 com n= 3 e reator 3 com n= 6

A Figura 1 apresenta um fluxograma de como eram realizadas as misturas dos componentes para compostagem. Todas as amostras de fezes foram misturadas com a serragem para compor uma única mistura, e foram inseridas nos reatores para o início do ensaio. Foi utilizada serragem não tratada para evitar a presença de componentes químicos que pudessem interferir na atividade microbiana.

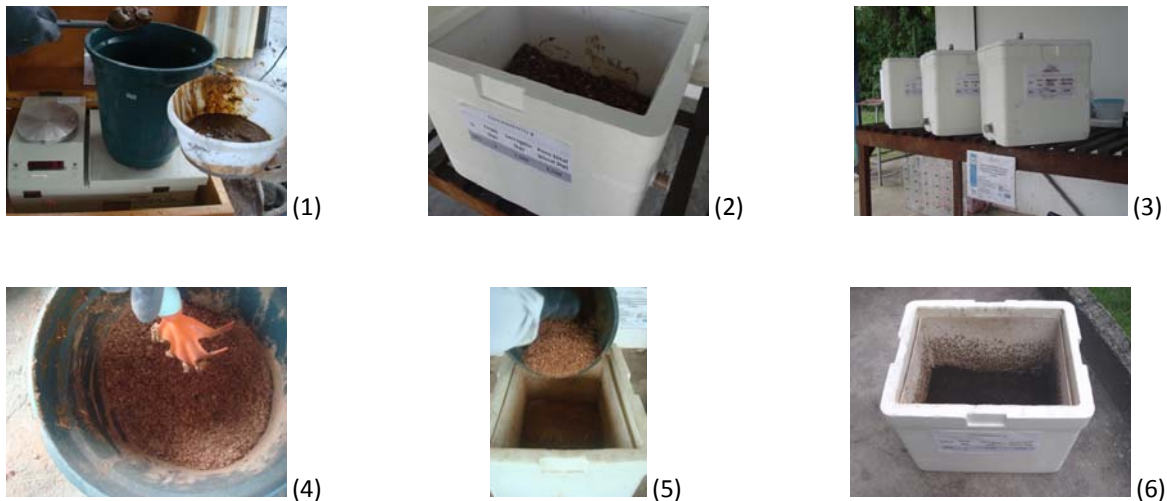


Figura 1. Preparação do material (fezes e serragem) para compostagem. (1) Pesagem e mistura das fezes humanas; (2) mistura das fezes com a serragem; (3) transferência da mistura para o reator de compostagem; (4) reator com o composto; (5) reator em cima da bancada e (6) reatores utilizados no experimento

Durante a etapa de degradação ativa, os reatores de compostagem foram monitorados, sendo anotadas todas as características do composto, a frequência de revolvimento, além das análises de temperatura, pH e relação C/N, sólidos totais, voláteis e fixos, fósforo total, NTK, ovos de helmintos e coliformes totais. *E. coli* foi o parâmetro microbiológico escolhido para analisar a eficiência do processo na higienização do material, conforme sugere Niwagaba (2007). Foram realizados revolvimentos manuais diários na fase de degradação ativa. Como as alterações de temperatura podem ser muito rápidas, foram feitas medidas de três a quatro vezes por dia, nos seguintes horários 09h00, 12h00, 15h00 e às 18h00. A temperatura ambiente foi obtida da Estação Meteorológica Automática localizada na UFES.

Resultados obtidos

Caracterização de fezes humanas

Os resultados quantitativos estão expressos na Tabela 2. A quantidade de fezes excretadas diariamente pelo corpo humano depende da composição do alimento consumido, da idade do indivíduo, do metabolismo, da saúde física, entre outros.

Tabela 2. Taxa de geração de fezes humana (peso úmido), g/pessoa.dia

Amostra	Média (g/pessoa.dia)	Desvio padrão	Máx	Mín	Coef. Variação
Masculino (n= 38)	134	67	386	69	49,8%
Feminino (n= 8)	104	49	218	55	46,9%
Total (n = 46)	130	64	386	55	49,2%

Neste aspecto, o peso úmido médio de fezes por pessoa foi de 130 g/dia, variando entre 55 e 386 g. O valor médio de 130 g foi semelhante às médias mundiais relatadas (Tabela 3).

Tabela 3. Taxa de geração de fezes humana (peso úmido), g/pessoa.dia, em diferentes países e regiões

País ou Região	Produção (g/pessoa.dia)	Referências
Media Mundial	100 - 150	Aires (2008)
Reino Unido	134	Almeida <i>et al.</i> (1999) ¹
América e Europa	100 - 200	Niwagaba (2007)
China	315	Gao <i>et al.</i> (2002) ³
Tailândia	120 – 400	Schouw <i>et al.</i> (2002)
Suécia	140	Vinnerås <i>et al.</i> (2006)

Legenda: 1- o valor excretado foi medido apenas durante a semana; 2- apud Schouw *et al.* (2002); 3- apud Niwagaba (2007)

Na Tabela 4, pode-se notar que as concentrações de fósforo foram as que apresentaram diferença mais acentuada entre si, variando de 2,3 a 9,9 gP/kg de fezes, com a menor concentração encontrada por Kujawa e Zeeman (2006), sendo o valor obtido nesta pesquisa de 3,2 gP/kg. Para o nitrogênio, pode-se notar uma menor variação, com valor mínimo de 10,5 e máximo de 15,4 gN/kg de fezes. Contudo, apesar de o valor médio encontrado nesta pesquisa, de 12,9 gN/kg estar próximo a média reportada na literatura, um desvio relativamente alto foi obtido, e que pode ser explicado com base em uma eventual diferença dos hábitos alimentares, uma vez que uma dieta com maior ingestão de proteínas implica em maior excreção de nitrogênio pelo organismo (Kirchmann e Petterson, 1995). Conforme a Tabela 5, o valor de pH para fezes encontrado foi próximo ao neutro, enquanto os valores relatados na literatura variaram de 5,3 a 7,2 (Choi *et al.*, 2003; Yadav *et al.*, 2010).

Quanto ao aspecto microbiológico, as amostras analisadas apresentaram concentrações de coliformes totais, termotolerantes e *E. coli* de 10^7 , 10^6 e 10^5 NMP/g, respectivamente, e, ovos de helmintos não foram detectados. Tal resultado se justifica pelo alto nível socioeconômico dos colaboradores, já que doenças parasitárias estão relacionadas a práticas inadequadas de higiene e deficiência nos sistemas de saneamento, comuns para níveis sociais mais baixos. Yadav *et al.* (2010), ao caracterizarem fezes humanas, encontraram concentrações de coliformes totais de 10^9 NMP/g, maior que a encontrada nesta pesquisa, e Schönning e

Stenström (2004) relatam que a quantidade de microrganismos na matéria fecal é da ordem de 10^{11} - 10^{13} /g.

Tabela 4. Valores médios da caracterização físico-química das fezes coletadas nos sanitários segregadores (valor médio \pm desvio padrão) comparados aos dados da literatura

Parâmetros	Esta pesquisa	Del Porto (1999)	Esrey <i>et al.</i> (2001)	Chaggu <i>et al.</i> (2003)	Jönsson <i>et al.</i> (2005)	Kujawa e Zeeman (2006)
pH	6,7 \pm 0,2	-	-	-	-	-
Umidade, em %	75,3 \pm 3,1	-	-	66 - 85	70	-
Sólidos Voláteis, em %	85 \pm 4	-	-	88 - 97	79,4	-
Fósforo (gP/kg fezes)*	3,2 \pm 1,1	4	5,4	8,1 - 9,9	3,8	2,3 - 5,4
Nitrogênio (gN/kg fezes)*	12,9 \pm 7,8	13,3	10,7	10,5 - 16,5	11,5	11,5 - 15,4
DQO (gDQO/kg fezes)*	450 \pm 141	-	-	105 - 522	288	351 - 419
C _{org} (gC _{org} /kg fezes)*	161,5 \pm 2,0	-	152,8	-	-	-

Legenda: *Peso seco

De todas as fontes geradoras de resíduos numa residência, como água cinza, urina, fezes e resíduos de cozinha, as fezes são responsáveis por cerca de 31% a 44% da DQO, 28% do P, 13% do N e 18% do K (Almeida *et al.*, 1999; Kujawa e Zeeman, 2006). De acordo com as concentrações obtidas para DQO e carbono, vê-se que a contribuição das fezes para a DQO é significativa e maior do que a sua participação nos elementos inorgânicos, o que gera um antecedente interessante, uma vez que por serem ricas em matéria orgânica e em nutrientes como N e P, as fezes humanas têm alto potencial como condicionador de solo e como fonte de nutrientes para a agricultura após tratamento por compostagem (Kakimoto e Funamizu, 2007).

Compostagem

As Figuras 2, 3 e 4 mostram as mudanças de temperatura ao longo do tempo nos reatores 1, 2 e 3, respectivamente. O aumento médio máximo da temperatura em relação à temperatura ambiente foi de cerca de 20°C, 30°C e 35°C, respectivamente, para os reatores R1 (F/S 60%), R2 (F/S 40%) e R3 (F/S 30%).

O R1 (F/S 60%) não atingiu temperaturas de desinfecção ($\geq 50^\circ\text{C}$), apenas alcançou a fase termofílica e permaneceu por poucas horas até se igualar à temperatura ambiente (Figura 2). O R2 (F/S 40%) alcançou a fase termofílica após 84h do início do processo e atingiu temperaturas de desinfecção, porém permaneceu nessa por poucas horas (156 a 192h), depois declinou bruscamente até se igualar à temperatura ambiente (Figura 3).

Ao contrário dos demais, o R3 (F/S 30%) alcançou a fase termofílica em 60h e a temperatura subiu progressivamente até atingir 50°C em 84h, mantendo-se superior até cerca de 240h (~ 7

dias) (Figura 4). A partir daí, permaneceu na fase de transição até por volta de 396h (16 dias) e, após isso, a temperatura foi declinando rapidamente, fato que indica que a matéria orgânica mais facilmente degradável pode ter sido rapidamente esgotada (Yu *et al.*, 2008). R3 (F/S 30%) também foi o responsável por alcançar as maiores temperaturas, pois registrou picos de temperatura de 58°C (216h) e atingiu temperaturas de 67°C em outras rodadas, enquanto os demais experimentos registraram 46°C (192h) e 53°C (180h), respectivamente, R1 (F/S 60%) e R2 (F/S 40%).

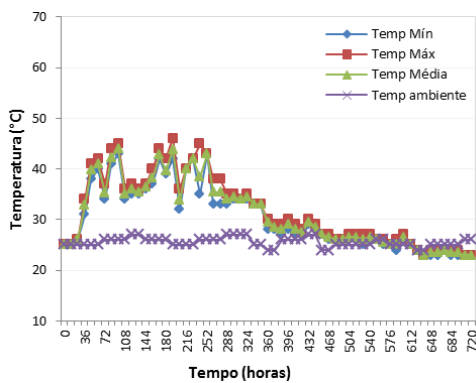


Figura 2: Variação da temperatura ao longo do tempo para o R1 (F/S 60%) e da temperatura ambiente (média, mínima e máxima dos 5 pontos de medição dentro do reator para cada tomada)

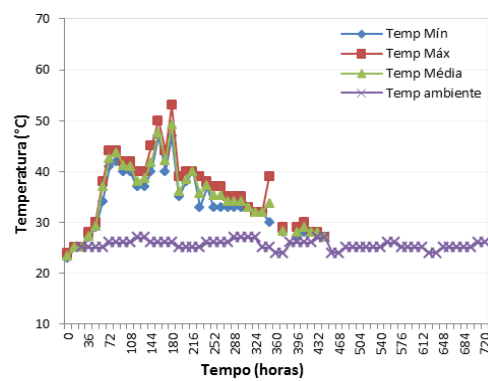


Figura 3: Variação da temperatura ao longo do tempo para o R2 (F/S 40%) e da temperatura ambiente (média, mínima e máxima dos 5 pontos de medição dentro do reator para cada tomada)

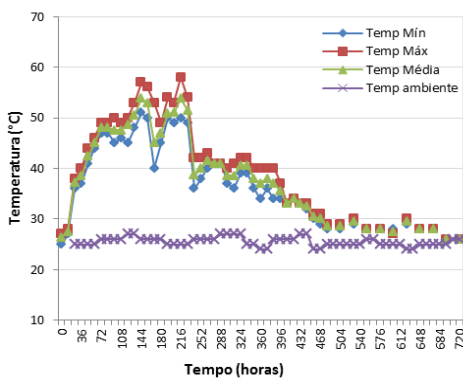


Figura 4: Variação da temperatura ao longo do tempo para o R3 (F/S 30%) e da temperatura ambiente (média, mínima e máxima dos 5 pontos de medição dentro do reator para cada tomada)

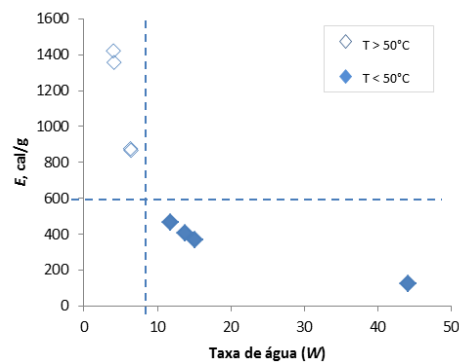


Figura 5: Valores calculados da relação de energia E (cal/g) e relação de água W . As linhas pontilhadas são os valores limites para compostos não funcionais

Outros estudos de compostagem em escala real e de bancada (Niwagaba, 2007; Niwagaba *et al.*, 2009a,b; Vinnerås, 2007), porém estudando diferentes relações entre fezes, cinzas, serragem e resíduos de alimentos, relataram aumento de temperatura em apenas 2 dias, e que se mantiveram superiores a 50°C entre 4 e 12 dias e, depois, declinaram rapidamente. Quando a compostagem de fezes foi combinada com resíduos alimentares, altas temperaturas se mantiveram por um período mais longo, cerca de 14 dias.

O aumento da temperatura até a fase termofílica (> 45°C) em algumas horas indica que a mistura está funcionando bem (Haug, 1993; Chiumenti *et al.*, 2005). No R3 (F/S 30%), esse aumento ocorreu em pouco mais de 2 dias (72h) e foi mais rápido do que nos demais reatores, onde levaram quase 4 dias (144h). A velocidade com que a temperatura aumenta depende, portanto, tanto da composição do substrato quanto da umidade inicial, tudo isso associado à atividade microbiana.

No aspecto microbiológico, em todos os reatores, as concentrações iniciais de coliformes totais foram de $10^6 - 10^7$ NMP/g, enquanto as concentrações de *E. coli* foram entre $10^5 - 10^7$ NMP/g conforme mostram as Figuras 6 e 7. Niwagaba *et al.* (2009b) relataram concentrações iniciais de *E. coli* menores, entre $10^3 - 10^5$ NMP/g e, para Germer *et al.* (2010), a carga inicial foi de 10^5 NMP/g. As concentrações de coliformes total e *E. coli* medidas nos compostos são encontradas na mesma magnitude que nos sanitários segregadores de urina e nos sanitários compostáveis em condições ambientais semelhantes (Peasey, 2001; Redlinger *et al.* 2001).

As Figuras 6 e 7 apresentam, respectivamente, o decaimento de coliformes totais e *E. coli* durante 4 semanas de experimento para as três relações F/S estudadas. Para R3 (F/S 30%), onde temperaturas superiores a 50°C se mantiveram por 7 dias, com picos de 67°C, não foi detectado *E. coli* em três semanas (Figura 7). Isto sugere que a relação tempo-temperatura é muito importante e que a higienização pode ser realizada durante períodos mais curtos a temperaturas mais elevadas, conforme relatam Feachem *et al.* (1983). Esses resultados também concordam com outros estudos em que a compostagem a 50-55°C resultou no decaimento de *E. coli* em três dias a duas semanas (Jepsen, 1997).

Em R2 (F/S 40%), temperaturas superiores a 50°C foram mantidas por apenas 2 dias e *E. coli* foi detectada em concentrações de 10^2 NMP/g. Por outro lado, R1 (F/S 60%), mesmo não atingindo a temperatura de desinfecção teve redução de 10^5 para 10^2 NMP/g ao longo de 21 dias. Todavia, no 28º dia foi detectado aumento na concentração de coliformes totais e *E. coli*, sugerindo que houve recrescimento ou, como a mistura não é homogênea e a temperatura pode variar de um ponto para outro dentro do reator, houve sobrevivência de organismos em partes do composto.

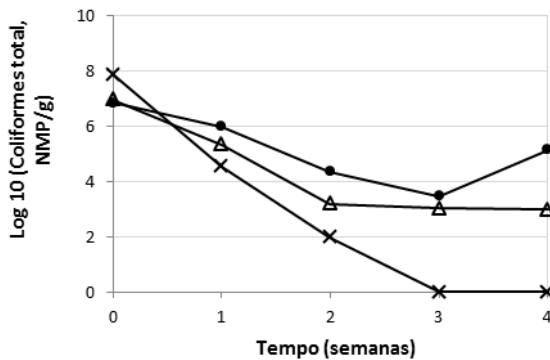


Figura 6: Mudanças para Coliformes total (log10 NMP/g) ao longo do tempo nos três reatores.

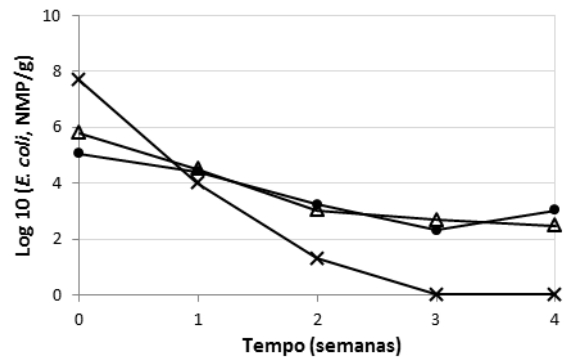


Figura 7: Mudanças para *Escherichia coli* (log10 NMP/g) ao longo de tempo nos três reatores.

Legenda: • é F/S 60% ; Δ é F/S 40% ; x é F/S 30%

Na Figura 5 são plotados os valores de E e W calculados para as relações F/S estudadas. Observa-se que a regra para E e W concorda bem com os resultados obtidos em relação ao comportamento da temperatura e da umidade. Segundo Haug (1993), os compostos com uma relação favorável entre a energia ($E > 700$ cal/g) e a taxa de água ($W < 8$) satisfazem os requisitos termodinâmicos para a elevação da temperatura e da evaporação da água. Das três proporções de serragem estudadas, apenas R3 (F/S 30%) reuniu esses requisitos para o bom funcionamento da compostagem. Tais requisitos foram coerentes com as temperaturas alcançadas nas três relações de F/S. R1 (F/S 60%), que obteve os menores valores de E e os mais elevados de W , não alcançou temperatura de desinfecção e R2 (F/S 40%), que obteve valores mais próximos ao sugerido pela literatura, alcançou temperatura de desinfecção, porém a manteve por um tempo muito reduzido. Já R3 (F/S 30%), que reuniu os requisitos ideais, alcançou a temperatura de desinfecção e a manteve por mais tempo. As equações para determinar os valores de E e W são sensíveis a pequenas alterações na porcentagem de sólidos fixos e, ademais, apenas um valor da literatura foi utilizado para H , que é o valor liberado quando a matéria orgânica é degradada.

Conclusão

Fezes humanas constituem recurso de nutrientes como N, P e K e apresentam potencial de reutilização podendo ser tratadas de forma mais sustentável que nos tratamentos dos sistemas convencionais de saneamento.

A quantidade de fezes excretadas por pessoa encontrada foi bastante variada, o que permite concluir que características físicas e comportamentais de cada indivíduo são responsáveis por essa diferença.

A compostagem de fezes humanas com serragem mostrou-se uma alternativa viável para o tratamento e a estabilização desse material. Sendo o melhor desempenho obtido na estabilização do composto e redução de *E. coli* para a proporção F/S de 30% (R3).

Mesmo R1 (F/S 60%) não tendo alcançado a temperaturas de desinfecção e R2 (F/S 40%) apresentado uma fase termofílica de duração limitada, a concentração de *E. coli* foi reduzida, o que demonstra que outros fatores contribuem para tal, dentre eles o aumento do pH e, possivelmente, relações ecológicas presentes nos sistemas.

Todos os compostos que atingiram temperaturas termofílicas tinham $E > 700$ cal/g e $W < 8$, demonstrando que esses critérios são importantes. Isso realça que os cálculos de E e W são valiosos para prever o desempenho do composto, entretanto, mais estudos são necessários.

Referências bibliográficas

- Aires, Margarida de Mello. (2008) Fisiologia. 3ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 1232 p.
- Almeida, M.C.; Butler, D.; Friedler, E. (1999) At-Source Domestic Wastewater Quality. *Urban Water*, **1**, 49-55.
- APHA. (2005) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21ª ed. Washington: American Public Health Association.
- Chaggu, E.J. (2003) Sustainable Environmental Protection Using Modified Pit-Latrines. Ph.D Thesis, Wageningen University, The Netherlands.
- Chiumenti, A., Chiumenti, R., Diaz, L.F., Savage, G.M., Eggerth, L.L., Goldstein, N. (2005) Modern Composting Technologies. The JG Press. Inc. ISBN 0-932424-29-5.
- Del Porto, D., Steinfeld, C. (1999) The composting toilet system book. A practical guide to choosing, planning and maintaining composting toilet systems, an alternative to sewer and septic systems. The center for ecological sanitation prevention (CEPP), Concord, Massachusetts. ISBN: 0 9666783 0 3.
- Esrey, S.A., Andersson, I., Hillers, A., Sawyer, R. (2001) Closing the Loop: Ecological sanitation for food security. Publications on Water Resources No. 18, Sida: México. ISBN 91 586 8935 4.
- Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelick, H., Mara, D.D. (1983) Sanitation and Disease. Health aspects of excreta and wastewater management. World Bank studies in water supply and sanitation. John Wiley and Sons. New York.
- Germer, J., Boh, M.Y., Schoeffler, M., Amoah, P. (2010) Temperature and deactivation of microbial faecal indicators during small scale co-composting of faecal matter. *Waste Management* **30**(2), 185-191.
- Haug, R.T. (1993) The practical book of compost engineering. Lewis Publishers. Lewis Publishers. Boca Raton. Washington D.C., ISBN 0 87371 373 7.
- Höglund, Caroline (2001) Evaluation of Microbial Health Risks Associated with the Re-use of Source-separated Human urine. 78 f. PhD Thesis. Department of Biotechnology and Applied Microbiology, Royal Institute of Technology (KTH) and the Department of Water and Environmental Microbiology, Swedish Institute for Infectious Disease Control (SMI), Estocolmo, Suécia.
- Jönsson, H., Baky, A., Jeppsson, U., Hellström, D., Kärrman, E., 2005. Composition of Urine, Faeces, Greywater and Biowaste: for utilization in the URWARE model. *Urban Water*, Report 2005: 6, Gothenburg, Suécia.
- Kirchmann, H., Pettersson, S. (1995) Human urine - chemical composition and fertilizer use efficiency. *Fertilizer Research* **40**, 149-154.
- Kujawa-Roeleveld, K.; Zeeman, G. (2006) Anaerobic treatment in decentralised and source-separation-based sanitation concepts. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* **5**, 115-139.

- Niwagaba, Charles (2007) Human Excreta Treatment Technologies: prerequisites, constraints and performance. 68 f. Licentiate Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Biometry and Engineering, Uppsala.
- Niwagaba, C. Nalubega, M., Vinnerås, B., Sundberg, C., Jönsson, H. (2009a) Bench-scale composting of source-separated human faeces for sanitation. *Waste Management* **29**, 585-589.
- Niwagaba, C., Kulabako, R.N., Mugala, P., Jönsson, H. (2009b) Comparing microbial die-off separately collected faeces with ash and sawdust additives. *Waste Management* **29**, 2214-2219.
- Peasey, Anne (2001). Health Aspects of Dry Sanitation with Waste Reuse. Task n° 324. London: Water Environmental Health at London and Loughborough.
- Redlinger, T., Graham, J., Corella-Barud, V., Avitia, R. (2001) Survival of fecal coliforms in dry-composting toilets. *Applied and Environmental Microbiology* **67**(9), 4036-4040.
- Schouw, N.L.; Danteravanichb, S.; Mosbaeka, H.; Tjella, J.C. (2002) Composition of human excreta: a case study from Southern Thailand. *The Science of the Total Environment*, **286**, 155-166.
- Schönning, C., Stenström, T.A. (2004) *Guidelines for the Safe Use of Urine and Faeces in Ecological Sanitation*. Report 2004-1. Ecosanres, SEI, Sweden. www.ecosanres.org.
- Vinnerås, B., Palmquist, H., Balmér, P., Jönsson, H. (2006) The characteristics of household wastewater and biodegradable solid waste – a proposal for new Swedish design values. *Urban Water Journal* **3**, 3-11.
- Yadav, K.D., Tare, V., Ahammed, M.M. (2010) Vermicomposting of source-separated human faeces for nutrient recycling. *Waste Management* **30**, 50-56.
- Yu, S., Grant Clark, O., Leonard, J.J. (2008) A statistical method for the analysis of nonlinear temperatura time series from compost. *Bioresource Technology* **99**, 1886-1895.
- WHO (2008) Progress on drinking water and sanitation: special focus on sanitation. UNICEF, New York and WHO, Geneva. ISBN 978 92 806 4313 8.