

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE CENÁRIOS DE GESTÃO DOS RESÍDUOS
SÓLIDOS ORGÂNICOS NO DISTRITO FEDERAL**

Allan Luís Augusto Redes de Oliveira (*), Armando de Azevedo Caldeira Pires

* Universidade de Brasília - UnB, e-mail: engallanredes@gmail.com

RESUMO

Este artigo tem o objetivo de avaliar os potenciais impactos ambientais de diferentes cenários de destinação dos resíduos sólidos orgânicos coletados no Distrito Federal, Brasil, por meio da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Quatro cenários de gestão dos resíduos sólidos orgânicos foram avaliados considerando diferentes formas de destinação, compostagem e aterro sanitário, e diferentes estratégias adotadas no controle das emissões gasosas do aterro sanitário, queima do biogás e aproveitamento energético. O consumo de energia, insumos, recuperação de materiais e as emissões foram quantificadas e avaliadas em termos de sua contribuição para as categorias de aquecimento global, toxicidade humana, acidificação e eutrofização. Os resultados demonstraram que reduções significativas dos potenciais impactos de aquecimento global e toxicidade humana podem ser obtidas com a compostagem da fração orgânica. No entanto no processo da compostagem devem ser adotadas formas de controle das emissões gasosas que causam o aumento dos potenciais de acidificação e eutrofização. O aproveitamento energético do gás do aterro apresentou os melhores resultados em todas as categorias.

PALAVRAS-CHAVE: ACV, compostagem, aterro sanitário

ABSTRACT

This paper aims to evaluate the potential environmental impacts of different scenarios for the disposal of organic solid waste collected in the Federal District, Brazil, through the Life Cycle Assessment (LCA) methodology. Four organic solid waste management scenarios were evaluated considering different forms of disposal, composting and landfill, and different strategies adopted to control gaseous emissions from the landfill, biogas burning and energy recovery. Energy consumption, inputs, recovery of materials and emissions were quantified and evaluated in terms of their contribution to the categories of global warming, human toxicity, acidification and eutrophication. The results showed that significant reductions in the potential impacts of global warming and human toxicity can be obtained with composting of the organic fraction. However, in the composting process, forms of control of the gaseous emissions that cause the increase of acidification and eutrophication potentials must be adopted. The energy recovery of the landfill gas presented the best results in all categories.

KEY WORDS: LCA, composting, landfill

INTRODUÇÃO

A gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) se tornou um dos principais desafios para os municípios, principalmente, nos países em desenvolvimento, onde o crescimento da população, urbanização e desenvolvimento econômico aumentaram significativamente a geração dos RSU (CHERUBINI et al., 2009; HAVUKAINEN et al., 2017). Devido as implicações na saúde pública, segurança e meio ambiente, é necessária uma gestão eficiente dos RSU (COELHO e LANGE, 2018; MCDUGALL et al., 2001).

No Distrito Federal (DF) foram coletadas 829.229 toneladas de RSU em 2017, sendo a maior parte encaminhada para um aterro controlado, fechado completamente em 2018, e para o aterro sanitário de Brasília (SLU, 2018). Embora os aterros sanitários sejam construídos para proteger o meio ambiente, ainda existem alguns efeitos adversos dessa prática. Portanto, é importante avaliar diferentes estratégias de tratamento dos resíduos para diminuir a carga sobre o meio ambiente (GOMES et al., 2015).

Essa crescente preocupação com relação a gestão dos RSU tem motivado o desenvolvimento e aplicação de instrumentos e métodos que auxiliem na compreensão, no controle e redução dos impactos associados a esta atividade (GOMES et al., 2015). Neste contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma das metodologias mais utilizadas para avaliar os sistemas de gestão dos resíduos sólidos. A ACV consiste em avaliar os efeitos ambientais relacionados a um produto ou processo, desde a aquisição da matéria-prima até a sua disposição final. Dessa forma, a ACV pode ser utilizada como uma ferramenta de apoio a tomada de decisão com relação aos impactos que diferentes estratégias adotadas em um sistema tem sobre o meio ambiente (COELHO e LANGE, 2018).



OBJETIVO

O objetivo deste estudo é avaliar os potenciais impactos ambientais de diferentes cenários de destinação dos Resíduos Sólidos Orgânicos (RSO) coletados no Distrito Federal (DF), Brasil, por meio da metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

METODOLOGIA

A metodologia utilizada é baseada na ACV. De acordo com a NBR ISO 14.040 (2009), um estudo de ACV possui quatro fases: definição do objetivo e escopo, inventário do ciclo de vida, avaliação dos impactos ambientais e interpretação dos resultados.

Objetivo e Escopo da ACV

O objetivo da ACV foi comparar os potenciais impactos de diferentes estratégias que podem ser adotadas na gestão dos RSO no DF. A unidade funcional selecionada, que permite a comparação dos diferentes cenários, foi 829.229 toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), que foi a quantidade coletada no DF em 2017 (SLU, 2018). A composição dos RSU coletados no Distrito Federal é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição dos RSU do Distrito Federal.
Fonte: SLU, 2015.

Fração dos Resíduos	Percentual (%)
Plástico	11,4
Papel	7,9
Metais	1,5
Vidro	2
Orgânico	37,2
Rejeitos	36
Outros	4

A ACV foi realizada para quatro cenários de gestão dos RSO no Distrito Federal. Nos Cenários 1 e 2 todo resíduo coletado é destinado para um aterro sanitário, com diferentes estratégias adotadas no controle das emissões gasosas. No Cenário 1 o biogás é coletado e queimado no local, enquanto no Cenário 2 o biogás é utilizado em uma turbina a gás para produção de eletricidade. Nos Cenários 3 e 4, 50% dos RSO são direcionados para compostagem e o restante é direcionado ao aterro sanitário, esta quantidade de RSO destinado para compostagem foi calculada para atender as metas do Plano Nacional de Resíduos Sólidos para a região Centro-Oeste (BRASIL, 2012). No Cenário 3 o gás do aterro sanitário é queimado no local, enquanto no Cenário 4 é utilizado para produzir eletricidade.

A fronteira do sistema incluiu as diferentes formas de destinação dos RSO (compostagem e aterro sanitário) e as estratégias adotadas no controle das emissões de um aterro sanitário (queima do biogás ou aproveitamento energético). As emissões diretas das operações e as indiretas da aquisição de materiais, como combustível e eletricidade, foram consideradas. Para evitar alocação entre as saídas, como aconselhado na norma NBR ISO 14.044 (2009), uma expansão do sistema foi utilizada, que permitiu incluir na ACV os créditos obtidos pela produção da energia e do composto. A Figura 1 apresenta a fronteira do sistema deste estudo.

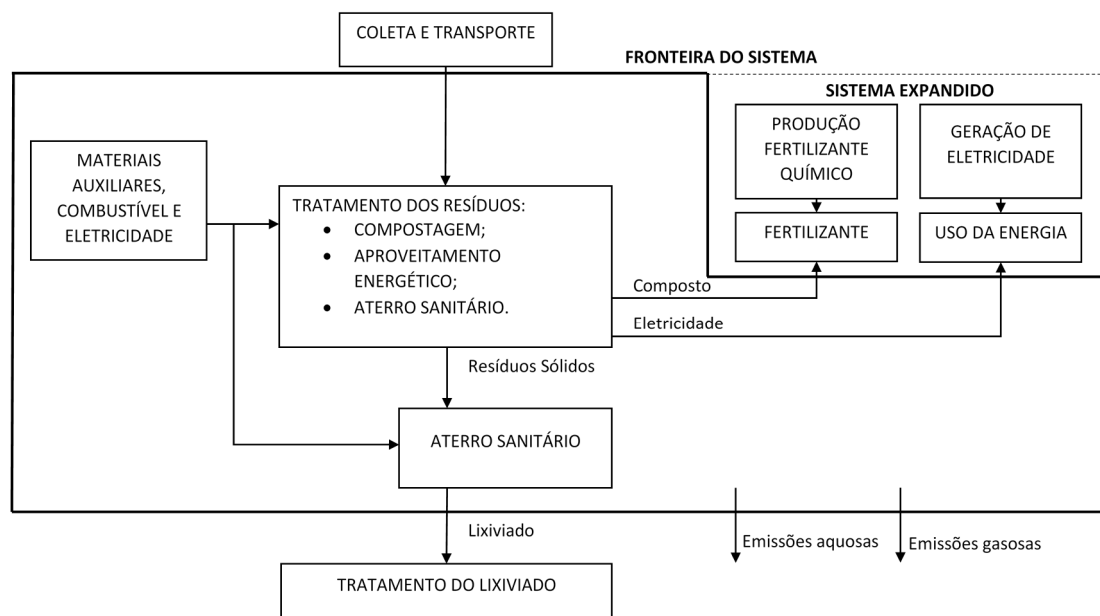
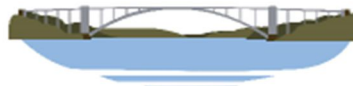


Figura 1: Fronteira do sistema. Fonte: Autor do Trabalho.

Foi assumido que 80% do lixiviado do aterro é coletado e transportado para uma unidade de tratamento e os 20% restante irá vazar diretamente para os corpos aquáticos. Não foram incluídos o uso de recursos ou emissões relacionadas ao transporte e tratamento do lixiviado, como considerado por Finnveden et al. (2000). As emissões produzidas pela construção das unidades de tratamento não são estimadas neste estudo. Segundo Assamoi e Lawryshyn (2012), essas emissões são pequenas quando comparadas com as emissões devido ao uso dessas unidades.

Inventário do Ciclo de Vida

O Inventário do Ciclo de Vida visa determinar os fluxos de massa, ou seja, as entradas e saídas, do sistema em estudo. O consumo de energia, entrada de recursos, recuperação de materiais e as emissões para o ar (CO_2 , CH_4 , SO_2 , NO_2 , N_2O , H_2S , HCl , HF , NH_3 , CFCs, HCFCs, COVs, Dioxinas e Furanos) e para água (DBO, DQO, N-total e P-total) foram estimados para todos os cenários. As emissões relacionadas as diferentes formas de tratamento do resíduo consideradas neste estudo foram calculadas com base nos dados disponíveis na literatura e de alguns processos disponíveis na base de dados do software GaBi.

Os dados de geração da energia elétrica são referentes a matriz elétrica brasileira. As emissões relacionadas ao uso da energia foram calculadas com o software GaBi, que considera a matriz elétrica brasileira com as seguintes proporções: hidrelétrica – 63,26%; gás natural – 13,74%; biomassa – 7,7%; derivados do petróleo – 6%; carvão – 3,19%; nuclear – 2,61%; eólica – 2,07%; lignito – 1,34% e biogás 0,09%. Esses dados também foram utilizados para calcular as emissões evitadas pelo aproveitamento energético do gás do aterro.

Os principais dados utilizados na modelagem do aterro sanitário e das formas de controle das emissões (queima do biogás e aproveitamento energético) são apresentados em Cherubini et al. (2009) e Mcdougall et al. (2001). Para a modelagem da compostagem foram utilizados os dados apresentados em Banar et al. (2009) e Finnveden et al. (2000). A composição do composto produzido considerada foi um valor médio das faixas de variação dos nutrientes (N e P) apresentadas em Boldrin et al. (2009). O material substituído é um fertilizante inorgânico contendo uma quantidade equivalente destes nutrientes (N e P). Os dados do inventário do ciclo de vida do fertilizante inorgânico substituído foram obtidos do banco de dados do software GaBi.

Avaliação dos Impactos Ambientais

Os potenciais impactos ambientais foram avaliados usando os dados coletados na fase do inventário. As entradas e saídas foram relacionadas a categorias de impacto e seus potenciais quantificados de acordo com determinados fatores de caracterização. Neste estudo, as categorias de impacto ambiental incluídas foram o potencial de acidificação, potencial



de eutrofização, potencial de aquecimento global e potencial de toxicidade humana. A modelagem do estudo foi realizada com o software GaBi e a metodologia de avaliação de impactos CML 2001 (GUINÉE, 2002).

RESULTADOS

Nas Figuras 2-5 são apresentados os potenciais impactos para os diferentes cenários considerados neste estudo. Um valor negativo significa um benefício /crédito ambiental, enquanto um valor positivo indica uma carga ambiental.

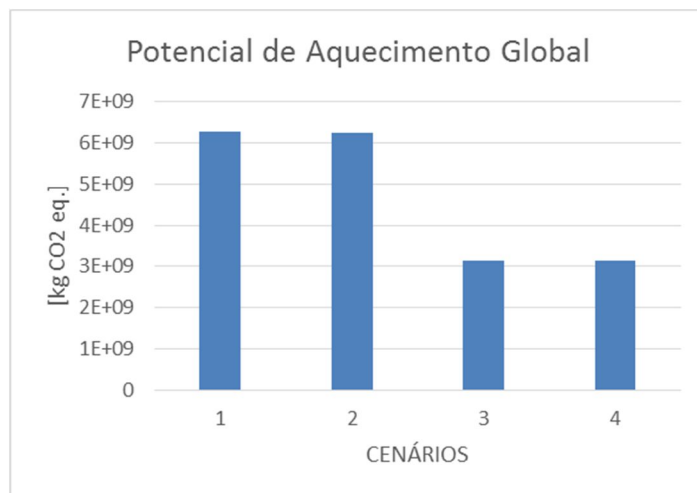


Figura 2: Potencial de Aquecimento Global dos cenários. Fonte: Autor do Trabalho.

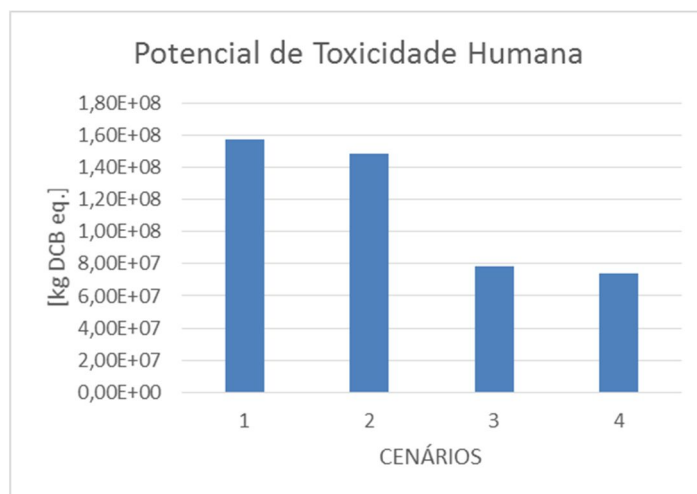


Figura 3: Potencial de Toxicidade Humana dos cenários. Fonte: Autor do Trabalho.

Com relação ao potencial de aquecimento global (Figura 2), expresso em kg CO₂ eq., os cenários nos quais todo o RSO é destinado ao aterro sanitário, cenários 1 e 2, apresentaram os maiores índices desta categoria de impacto. Nos cenários 3 e 4, que parte da fração orgânica é destinada para a compostagem, houve uma redução significativa deste potencial impacto. Já o aproveitamento energético do biogás tem uma contribuição pequena na redução do potencial de aquecimento global, pois a maior parte da energia elétrica produzida no Brasil é de fontes com baixa emissão de gases de efeito estufa (COELHO e LANGE, 2018).

O potencial de toxicidade humana (Figura 3), expresso em kg DCB eq., apresentou um comportamento semelhante a categoria de aquecimento global. Os cenários que consideraram a compostagem como alternativa de tratamento dos RSO apresentaram menores índices deste potencial impacto.

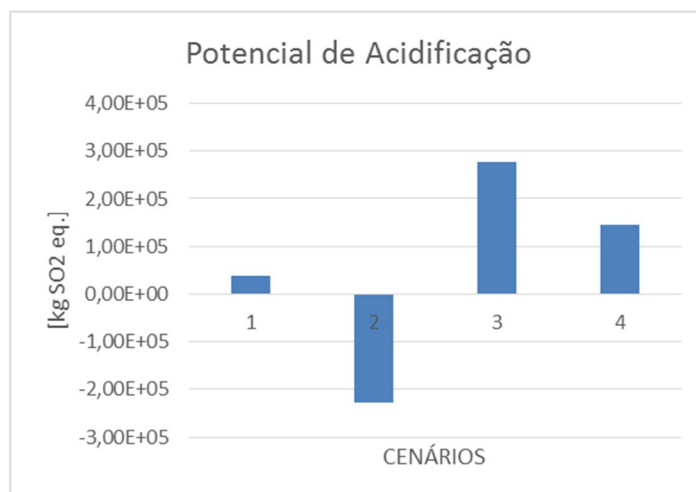
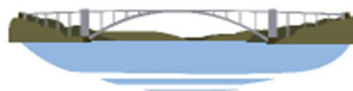


Figura 4: Potencial de Acidificação dos cenários. Fonte: Autor do Trabalho.

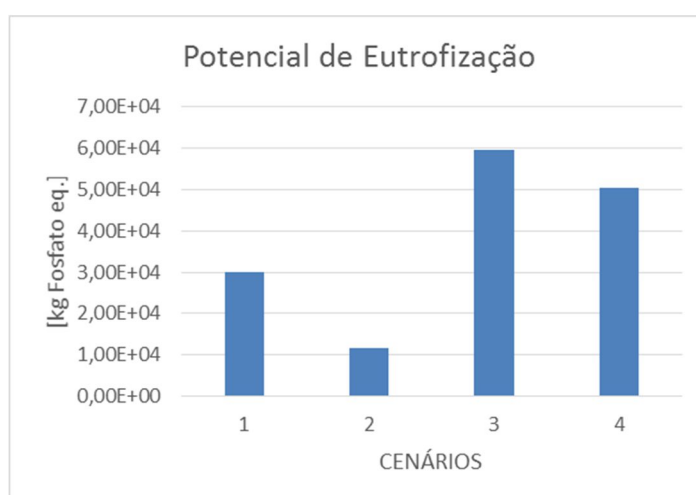


Figura 5: Potencial de Eutrofização dos cenários. Fonte: Autor do Trabalho.

Com relação ao potencial de acidificação (Figura 4), expresso em kg SO₂ eq., os cenários 3 e 4 apresentaram os maiores impactos adverso, devido as emissões de NH₃, NO₂ e SO₂ que são relacionados ao processo da compostagem. O aproveitamento energético do biogás teve uma influência maior nos resultados da acidificação do que nos de aquecimento global. O valor negativo do indicador no cenário 2 expressa que a acidificação evitada foi maior que a produzida pelos outros processos considerados neste cenário.

No potencial de eutrofização (Figura 5), expresso em kg PO₄ eq., os cenários com aterros sanitários precedidos por compostagem apresentaram os piores índices desta categoria de impacto. Nos cenários onde o biogás foi utilizado para produção de eletricidade houve uma redução deste potencial impacto quando comparado com os cenários onde o biogás foi queimado, no entanto a eutrofização evitada pelo uso da eletricidade proveniente dos resíduos não foi maior que a produzida pelos outros processos considerados nesses cenários, indicando uma carga ambiental.

CONCLUSÕES

Neste estudo foi realizada uma ACV de diferentes cenários de destinação dos RSO coletados no Distrito Federal. A ACV permitiu comparar o efeito ambiental de cada cenário estudado considerando várias categorias de impacto e mostrou-se como uma ferramenta valiosa para ajudar no planejamento de um sistema de gestão dos resíduos sólidos que seja ambientalmente favorável.

De acordo com os resultados, os cenários que os RSO foram destinados para a compostagem apresentaram menores potenciais de impactos apenas nas categorias de aquecimento global e toxicidade humana. Entretanto os potenciais impactos de acidificação e eutrofização podem ser reduzidos se for considerada alguma forma de controle e tratamento



das emissões gasosas no processo da compostagem. Com relação as diferentes formas de tratamento do gás do aterro, o aproveitamento energético mostrou-se como uma alternativa melhor que a queima do biogás.

Os cenários de gestão dos RSO foram investigadas somente do ponto de vista ambiental. Portanto, outras ferramentas que considerem os efeitos econômicos e sociais das diferentes estratégias devem ser consideradas no processo de tomada de decisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR ISO 14.040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2009.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR ISO 14.044: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações**. Rio de Janeiro, 2009.
3. Assamoi, B.; Lawryshyn, Y. **The environmental comparison of landfilling vs. incineration of MSW accounting for waste diversion**. Waste Management, v. 32, n. 5, p. 1019-1030, 2012.
4. Banar, M.; Cokaygil, Z.; Ozkan, A. **Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey**. Waste management, v. 29, n. 1, p. 54-62, 2009.
5. Boldrin, A. et al. **Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions**. Waste Management & Research, v. 27, n. 8, p. 800-812, 2009.
6. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Ministério do Meio Ambiente. Governo Federal. Brasília: MMA. 2012
7. Cherubini, F.; Bargigli, S.; Ulgiati, S. **Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration**. Energy, v. 34, n. 12, p. 2116–2123, 2009.
8. Coelho, L. M. G.; Lange, L. C. **Applying life cycle assessment to support environmentally sustainable waste management strategies in Brazil**. Resources, Conservation and Recycling, v. 128, p. 438-450, 2018.
9. Finnveden, G. et al. **Life cycle assessments of energy from solid waste**. Stockholms Universitet, 2000.
10. Gomes, L. P. et al. **Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 20, n. 3, p. 449–462, 2015.
11. Guinée, J. B. **Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards**. Eco-efficiency in Industry and Science Series, v. 7, p. 692, 2002.
12. Havukainen, J. et al. **Environmental impact assessment of municipal solid waste management incorporating mechanical treatment of waste and incineration in Hangzhou, China**. Journal of cleaner production, v. 141, p. 453-461, 2017.
13. Mcdougall, F. R.; White, P. R.; Franke, M.; Hindle, P. **Integrated solid waste management: a life cycle inventory**. Blackwell Science Ltd., Oxford, 2001.
14. Serviço de Limpeza Urbana (SLU). **Relatório da análise gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do Distrito Federal – 2015**. Disponível em: <www.slu.df.gov.br>. Acesso em: 2 outubro 2018.
15. Serviço de Limpeza Urbana (SLU). **Relatório de atividades SLU - 2017**. Disponível em: <www.slu.df.gov.br>. Acesso em: 15 setembro 2018.