

## **VI-102 – ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU NO BRASIL**

**Aline Isabel Melo Henríquez**<sup>(1)</sup>

Bióloga Universidade do Atlântico. Especialista em gestão ambiental Universidade do Magdalena. Mestre em Engenharia de energia na UNIFEI. Professora e pesquisadora no CAAG SENA Regional Magdalena.

**José Carlos Escobar Palacio**<sup>(2)</sup>

Engenheiro mecânico Universidade do Atlântico. Doutor engenharia mecânica na UNIFEI.

**Electo Eduardo Silva Lora**<sup>(3)</sup>

Formado em usinas Térmicas pela Universidade Politécnica de Odessa. PhD em Geradores de Vapor e Desenho de Reatores da Universidade Politécnica de São Petersburgo.

**Bichara José Zableh Hasbún**<sup>(4)</sup>

Arquiteto Universidade Autónoma do Caribe. Subdirector Centro Acuicola y Agroindustrial de Gaira – SENA Regional Magdalena.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Km 5 Vía Garía – Santa Marta – Magdalena – Colombia - Tel: (575) 4217643 IP 54116 - e-mail: [ameloh@misena.edu.co](mailto:ameloh@misena.edu.co)

### **RESUMO**

Considerando a necessidade de aprofundar o conhecimento sobre o manejo de resíduos sólidos urbanos e seus efeitos sobre o ambiente natural, este estudo procurou contribuir com a análise de diferentes rotas de recuperação de energia dos RSU. Eles usaram as características do consórcio de geração MSW CIMASAS que inclui 11 municípios, com o objetivo de comparar seis cenários diferentes em um Sistema integrado de tratamento de resíduos. Para a avaliação ambiental utilizou-se a análise de ciclo de vida (ACV) para consolidar os inventários de cenários, considerando o uso de materiais, energia, além das emissões, a avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) foi realizada com o software SimaPro, usando o método CML IA baseline para cinco categorias de impacto (aquecimento global, depleção abiótica, depleção da camada de ozônio, acidificação e eutrofização). O balanço de energia ao longo do ciclo de vida foi feito utilizando o método de demanda acumulada de energia, foram calculados 3 indicadores: Eficiência Energética e Balanço Energético. Os resultados para o Brasil confirmam a necessidade de reduzir o descarte de resíduos em aterros, que é o pior cenário para todas as categorias de impacto. Os resultados indicaram esmagadoramente a melhoria do desempenho ambiental no sistema integrado que beneficia a geração de energia, a recuperação de materiais com valor de mercado e a produção de biofertilizantes. Na análise energética, pode-se concluir que, do ponto de vista da utilização de energia, tem o melhor desempenho que corresponde ao sistema integrado, seguido da digestão anaeróbia; o aterro sem recuperação de energia é a pior escolha.

**PALAVRAS-CHAVE:** ACV, aterro sanitário, biogás, digestão anaeróbia, eficiência energética gasificação, reciclagem.

### **INTRODUÇÃO**

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são uma preocupação a nível mundial, inevitavelmente gerados pelas atividades da população; sendo que o crescimento populacional leva também a um consumo desmedido de recursos naturais (ACHILLAS *et al.*, 2011; CLEARY, 2009). Uma problemática relacionada com a disposição final dos RSU e o fato de que os mesmos quando descartados da forma incorreta geram impactos negativos sobre o meio ambiente que afetam a saúde humana.

Países membros da união europeia estão implementando leis para reduzir a disposição de RSU em aterros e promover a utilização de técnicas ambientalmente menos comprometedoras (MÜNSTER e LUND, 2009). Isto devido às grandes áreas ocupadas por eles e os impactos ambientais decorrentes pelas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) a partir dos gases fugitivos, a poluição das águas subterrâneas e do solo (EUROSTAT, 2014).

No Plano Nacional de Resíduos Sólidos a prevenção da formação e redução dos resíduos são importantes e devem ser priorizadas antes da recuperação do recurso, na hierarquia. Lisney *et al.* (2003) abordam a recuperação de energia como necessária para a gestão sustentável dos resíduos. Na seleção de alternativas para a disposição final dos resíduos é importante considerar os riscos decorrentes da implementação de cada uma e os impactos ambientais que podem ser causados (FRUERGGAARD e ASTRUP, 2011), com este fim é utilizada a análise do Ciclo de Vida (ACV), que tem provado ser uma ferramenta adequada para proporcionar uma comparação entre as tecnologias de gestão de resíduos. Do ponto de vista ambiental, os processos de gestão sustentável dos resíduos, devem levar a diminuição da geração de GEE, é por isso que se utilizam os processos de conversão de resíduos em energia (WtE) que diminuem e substituem o uso de combustíveis fósseis.

A maioria dos estudos tem se focado em comparações entre tecnologias específicas como são a incineração e o aterro sanitário, as mais comuns de encontrar nos grandes núcleos populacionais. Porém, ainda há a necessidade de um estudo abrangente sobre a viabilidade das estratégias WtE para RSU em cidades de médio porte no Brasil. O objetivo deste trabalho é a avaliação energético-ambiental de diferentes alternativas de tratamento e disposição final dos RSU para populações de médio porte, incluindo a sua conversão energética, e utilizando a análise do ciclo de vida - ACV para isso seis cenários, foram considerados neste estudo, propondo um sistema integrado.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

A metodologia abordada neste trabalho permite a análise e comparação, sob o aspecto energético e ambiental de diferentes alternativas de tratamento e disposição final dos RSU. Como estudo de caso será utilizado o Consórcio Intermunicipal dos Municípios da Microrregião do Alto Sapucaí (CIMASAS), no estado de Minas Gerais no Brasil.

### **Dados de entrada**

Em uma primeira fase, foram considerados como dados de entrada a geração de RSU, a composição gravimétrica e elementar dos RSU, assim como o pré-tratamento e tratamento necessário, possibilidade de recuperação energética, uso de materiais primas e as emissões geradas durante a vida útil do projeto.

### **Aterro Sanitário de Itajubá**

O aterro sanitário se encontra localizado no município de Itajubá, na região Sul do estado de Minas Gerais, a 12 km do centro da cidade. Possui uma área de 56,9 hectares, com vida útil de projeto de 20 anos. O aterro iniciou suas operações em janeiro de 2010 (GONÇALVES, 2007).

### **População de Estudo**

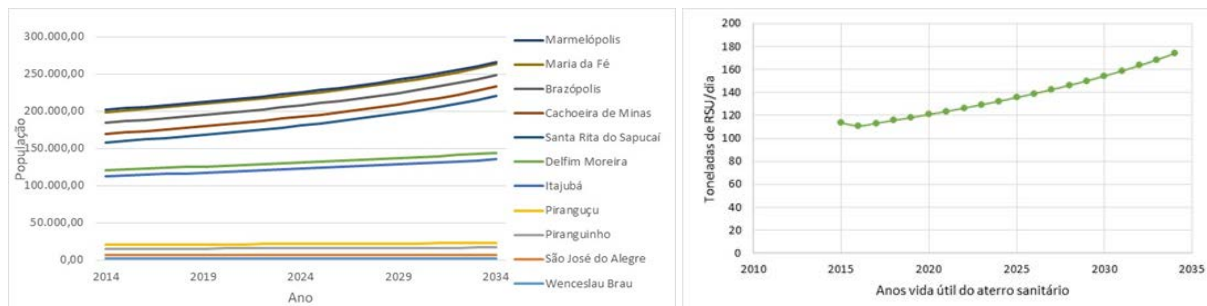
O consórcio CIMASAS está formado por 11 municípios do estado de Minas Gerais, com uma população de 203.983 habitantes (IBGE, 2015), na faixa entre 100.000 e 300.000 habitantes, que segundo o BNDES (2014), é considerada de médio porte. Esse rango populacional tem sido pouco estudado e geralmente não existe para ele uma estratégia adequada de tratamento e disposição final dos RSU o que pode contribuir à disseminação de diversas doenças na população e ocasiona impactos ambientais devido às emissões não controladas. Pelo tamanho populacional, se estima que podem apresentar facilidade tanto para educação ambiental quanto para o manejo, viabilizando o aproveitamento energético dos RSU e diminuição das quantidades de resíduos gerados nessa parcela da população.

### **Projeção populacional e da geração de RSU do CIMASAS**

Para a projeção da geração dos RSU, é necessário conhecer a taxa de crescimento populacional. O índice de geração per capita cresce ou decresce a cada ano em função de variáveis como, desenvolvimento econômico do país e a eficiência na redução da geração de resíduos. Barros (2012) sugere a utilização de uma taxa de crescimento de 1% a cada ano para projeções futuras. Para a projeção populacional podem ser usados diversos modelos matemáticos, sendo escolhido no presente estudo o modelo logístico, (ZILL, 2011).

Considerando a variação temporal da população  $P(t)$  em 1% ao ano, determinou-se a projeção populacional para os municípios do CIMASAS no período de tempo compreendido entre os anos 2014 a 2034, a que é mostrada na Figura 1a.

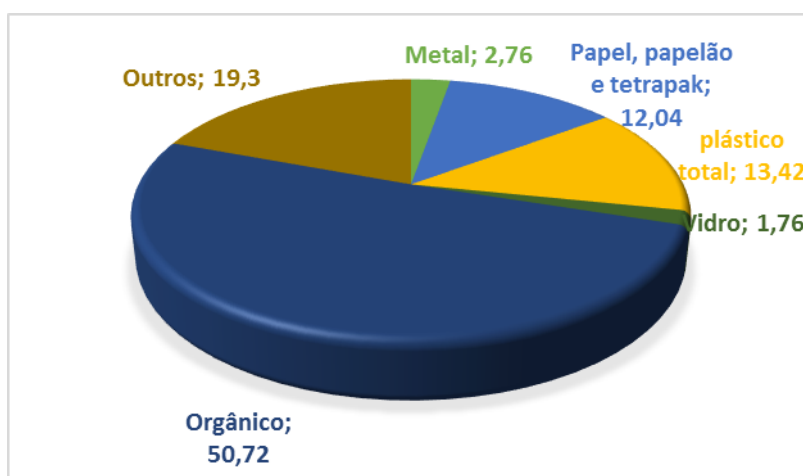
A partir do número de habitantes dos municípios integrantes do consórcio, assim como da quantidade de resíduos gerados no mesmo período, foi calculada a taxa de geração de resíduos per capita para cada município do CIMASAS (Figura 1b). Assim ao longo de 20 anos o aterro irá receber mais de 1.050.520 t de RSU.



**Figura 1. Dinâmica populacional e geração de resíduos no CIMASAS. 1a. Projeção populacional para os municípios do CIMASAS nos anos de 2014 a 2034. 1b. Projeção da geração de RSU do CIMASAS durante a vida útil do aterro**

#### Caracterização e composição dos RSU em estudo

Como não existem dados recentes reportados na literatura sobre a composição gravimétrica dos RSU depositados no aterro de Itajubá, foram pesquisadas cidades com população de médio porte como do presente estudo no Brasil, tendo em conta o PIB per capita e dessa forma obteve-se a composição uma gravimétrica média que foi assumida para o CIMASAS (Figura 2).



**Figura 2. Composição gravimétrica assumida para o CIMASAS, 2015**

#### Estimativa de geração de biogás de aterro no CIMASAS

Para a estimativa da geração de biogás de aterro foi utilizado o programa LandGEM®, desenvolvido pela agência americana de proteção ambiental (USEPA, 2005), o qual apresenta as estimativas de emissão para todos os gases ou poluentes para um único ano especificado. Se apresenta a geração de biogás, metano e outros gases que se apresentam em menores quantidades. Pode-se observar que após 2034 o ano de fechamento do aterro, ocorre o pico da produção de biogás.

#### Análise ambiental

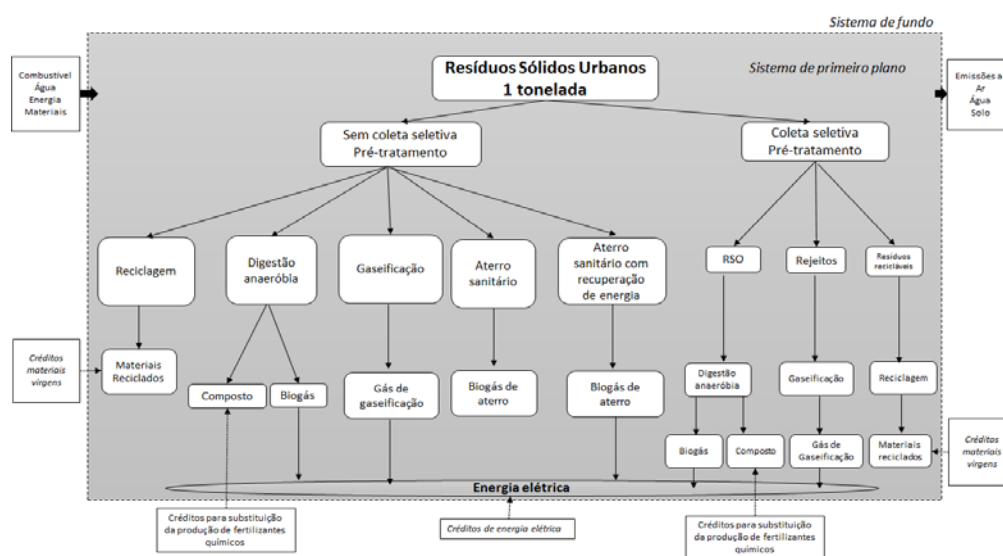
Para a análise ambiental foi realizada uma avaliação de ciclo de vida, na Tabela 1 se apresenta o objetivo e escopo do estudo.

**Tabela 1. Objetivo e escopo de estudo**

Objetivo e Escopo	Descrição
Objetivo	O objetivo é comparar o desempenho energético e ambiental de diferentes alternativas de tratamento e disposição final de RSU considerando diferentes rotas tecnológicas (bioquímica e termoquímica), com e sem coleta seletiva.
Unidade Funcional	1 tonelada de RSU
Fluxo de referência	1 t de RSU ao atravessar os limites dos sistemas estudados e sair na forma de fluxos de massa, energia e emissões ao ambiente.

### Fronteiras dos sistemas

Na ACV, a escolha dos limites do sistema tem um efeito relevante sobre os resultados e sua interpretação, no presente estudo foi aplicada uma expansão do sistema (Figura 4) ou seja uma abordagem consequential.



**Figura 4. Fronteiras dos sistemas**

As emissões resultantes das atividades do primeiro plano são denominadas encargos diretos: eles incluem as emissões atmosféricas provenientes da gaseificação, da digestão anaeróbica, e do gás de aterro. O sistema de segundo plano ou de fundo inclui todos os outros processos que interagem com o sistema de primeiro plano, normalmente através de transferência de materiais e de energia (CLIFT *et al.*, 2000). As emissões decorrentes dos processos no sistema de fundo são referidas como emissões indiretas e evitadas: a produção de eletricidade a partir de biogás, o biofertilizante e as matérias recicláveis (CLIFT *et al.*, 2000; BERNSTAD e LA COUR JANSEN, 2012).

O escopo de estudo vai do “portão ao túmulo”, no qual o portão é a entrada do sistema, com a chegada dos RSU aos diferentes lugares, onde receberam o tratamento e posteriormente a disposição final sendo essa o túmulo. Não são considerados os aspectos ambientais referentes ao ciclo de vida da produção de cada componente presente na massa de RSU, a exclusão destas variáveis não irá afetar os resultados já que o valor é o mesmo para todos os cenários.

### Definição dos Cenários

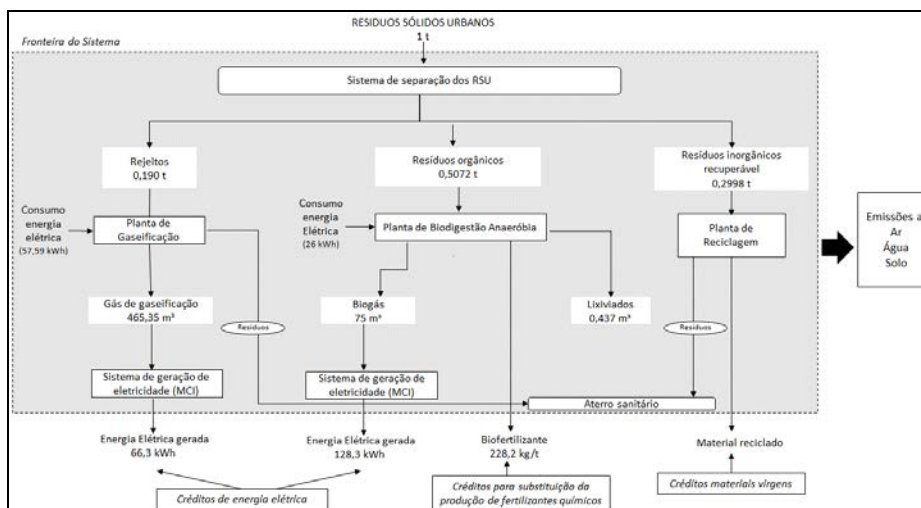
Tendo em consideração as diferentes alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento e disposição final de RSU foram definidos seis cenários de tratamento e disposição, se apresenta o cenário proposto:

#### **Cenário 6 - Sistema integrado de tratamento de resíduos.**

Uma única opção de gestão apropriada para todos os fluxos de resíduos não é suficiente. A maior parte das frações de resíduos sólidos pode ser eficientemente reutilizada, reciclados ou biologicamente tratados, depois de processos adequados de separação na origem, a coleta seletiva e triagem de material. Frações importante dos resíduos devem ser convenientemente tratados para maximizar a recuperação sustentável de materiais e energia minimizando os impactos ao ambiente.

Os tratamentos termoquímicos contribuem para o cumprimento dos objetivos de gestão de resíduos e permitem uma recuperação sustentável de energia e materiais (BOSMANS *et al.*, 2013, BRUNNER e RECHBERGER, 2015).

Este cenário pressupõe a coleta seletiva, com separação na fonte, depois da qual os RSU são levados à usina de triagem, que é capaz de separar a massa de resíduos nos seus componentes principais: orgânicos biodegradáveis essencialmente composta de resíduos de cozinha (cerca de 50% do peso original RSU), rejeitos que não se podem aproveitar e os metais, plásticos, papeis e vidros que podem ser utilizados como materiais recicláveis. Na Figura 10 é mostrado o cenário completo, onde se pode observar a separação dos RSU e as diferentes rotas propostas para seu tratamento e disposição final.



**Figura 10. Limites do sistema e processos incluídos no Cenário 6**

No sistema integrado faz-se necessário um processo de capacitação para conscientização da população sobre a problemática ambiental e riscos à saúde, além de mostrar os melhores procedimentos para separação na fonte e assim conseguir que os RSU cheguem já classificados às plantas de triagem.

Os inventários utilizados para o Cenário 6 são os mesmos utilizados, para os Cenários, 3, 4 e 5. Neste cenário se realiza a coleta seletiva na fonte e posteriormente os resíduos são pré-tratados para uma melhor classificação dos RSU.

No Cenário 3, a fração de resíduos orgânicos (0,507) entra em um biodigestor anaeróbio, enquanto os rejeitos (0,19) vão para um gaseificador no Cenário 4. Finalmente, os resíduos recicláveis (0,29) correspondentes ao Cenário 5 são encaminhados para a reciclagem. Se considerou para os cenários 4 e 5 uma geração de resíduos não são passíveis de aproveitamento, que serão destinados a um aterro sanitário, em uma porcentagem de 81% e 71% respectivamente.

### Análise do inventário de ciclo de vida (AICV)

Os inventários obtidos a partir de fontes brasileiras e do banco de dados de ECOINVENT.

### Avaliação de Impacto

A avaliação de impacto é uma etapa da ACV que procura identificar, caracterizar e avaliar, quantitativa e qualitativamente, os potenciais impactos das intervenções ambientais identificadas na etapa de análise do inventário (CHEHEBE, 1998).

Dos vários métodos de AICV disponíveis no software SimaPro v8, foi escolhido o método CML IA *baseline* (2000), devido a que a maior parte das categorias de impacto têm um âmbito geográfico global, além disso sua abordagem é orientada para o problema que corresponde na ISO ao ponto intermédio no mecanismo ambiental, onde ainda se podem propor soluções de mitigação às diferentes problemáticas ambientais.

As categorias de impacto intermediárias utilizadas para realizar a avaliação dos impactos ambientais dos cenários analisados são: acidificação, aquecimento global, eutrofização, depleção abiótica e depleção da camada de ozônio. A justificativa para a seleção é tal que representam as principais categorias desses impactos ambientais por parte do setor de tratamento e disposição de RSU.

## RESULTADOS

### Avaliação dos Impactos Ambientais para os Cenários Avaliados

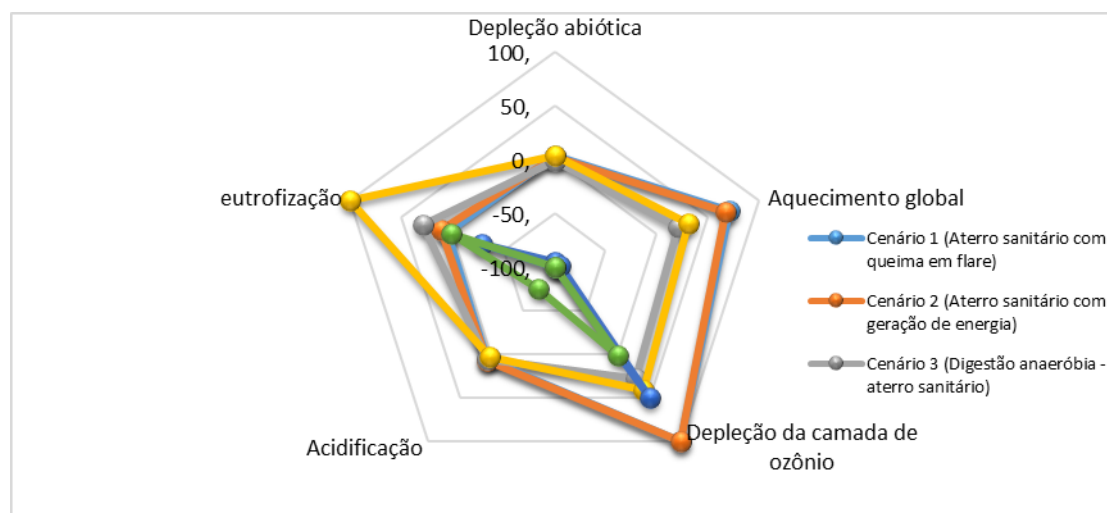
Para a análise ambiental, foram comparados os cenários, para as categorias de *midpoint*. Para comparações, vale lembrar que valores maiores indicam um pior desempenho ambiental do cenário na categoria, ao passo que valores menores ou negativos indicam benefícios ambientais.

### Comparação entre os Cenários analisados

Os resultados da ACV são apresentados na Tabela 10, como o total de impactos ambientais ao longo de toda a vida útil dos RSU e na Figura 16, pode-se observar os resultados plotados em um gráfico de radar, no qual é observada a influência de cada cenário nas categorias de impactos.

**Tabela 10. Impactos ambientais para tratamento e disposição final de 1 t de RSU obtidos com o método CML IA baseline**

Categoria de impacto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
Depleção abiótica (kg Sb eq)	1,01E-05	8,32E-06	-2,96E-06	1,62E-05	-2,60E-04	-2,73E-04
Aquecimento global (kg CO <sub>2</sub> eq)	3,95E+02	3,69E+02	1,14E+02	1,30E+02	-5,23E+02	-5,53E+02
Depleção da camada de ozônio (kg CFC-11 eq)	2,68E-03	2,68E-03	7,62E-04	8,09E-04	1,35E-03	2,61E-05
Acidificação (kg SO <sub>2</sub> eq)	2,28E-01	2,83E-01	2,51E-01	1,13E-01	-3,91E+00	-2,92E+00
Eutrofização (kg PO <sub>4</sub> --- eq)	4,13E-02	8,90E-02	2,33E-01	8,32E+00	-2,37E-01	1,01E-02



**Figura 16. Comparação percentual dos impactos ambientais dos cenários analisados utilizando um gráfico de radar.**

Os resultados evidenciam que o Cenário 6, correspondente ao sistema integrado, apresentou os menores impactos e, portanto, os melhores resultados em todas as categorias. Neste cenário há aproveitamento energético, menores impactos ambientais e além disso, geração de outros produtos como são o biofertilizante e materiais recicláveis que podem ser comercializados como matéria prima.

O Cenário 5 (reciclagem), gera os segundos menores impactos ambientais, porém neste cenário somente foram utilizados os resíduos que podem ser recuperáveis, sem ter em consideração os resíduos orgânicos ou rejeitos, que são levados a um aterro sanitário no qual, como se explicou anteriormente, apresenta maiores impactos ambientais. O maior objetivo de um programa de reciclagem é o componente ambiental por meio da exploração em menor escala dos recursos naturais diante do aproveitamento de materiais recicláveis como matéria-prima

de um novo processo de industrialização, além de diminuir o resíduo acumulado e poupar energia. Desta forma, conclui-se que haverá melhor aproveitamento quando são utilizados todos os RSU classificados e submetidos a diferentes tecnologias de tratamento indicadas para cada um deles.

Os maiores impactos para todas as categorias se apresentaram no Cenário 1. Tendo em consideração esta problemática ambiental em vários países europeus estabeleceram-se políticas para erradicar os aterros sanitários e focam seus esforços na implementação da hierarquia de tratamento e disposição do resíduo, portanto, na diminuição de resíduos, na recuperação e na reciclagem dos materiais e da energia nele contido. Os aterros na sua atual concepção geram um fardo incalculável para as futuras gerações e devem ser considerados como última opção para dispor os resíduos.

## CONCLUSÕES

O cenário 6 do sistema integrado, além de apresentar benefícios pela geração de energia, recuperação de materiais recicláveis e biofertilizante que podem ser comercializados, apresenta os menores impactos ambientais para todas as categorias estudadas. Os segundos menores impactos, correspondem ao Cenário 5, com utilização apenas da fração de resíduos que podem ser recuperados, não poderia categorizar-se como a melhor opção, devido a que os outros resíduos não são aproveitados, somente se limita a dispor em um aterro sanitário. O cenário 1 é o modelo mais utilizado para o tratamento e disposição final para os RSU implementados no Brasil é de pior desempenho do ponto de vista ambiental.

As categorias de menores impactos para todos os cenários são a depleção abiótica, seguido da acidificação e a eutrofização, sendo esta última representativa apenas no Cenário 4. No aquecimento global se vê influenciado pelas emissões fugitivas do aterro sanitário nos Cenários 1, 2, 3 e 4, nos cenários 5 e 6 se apresentam valores negativos. A rota indicada para municípios com população entre 100.000 e 300.000 habitantes deve ser composta por: coleta domiciliar de CDR, coleta diferenciada de resíduos recicláveis, orgânicos, unidades de triagem para destinação dos resíduos recicláveis secos e disposição de rejeitos em aterros sanitários.

O sistema integrado onde se tem o uso de diferentes tecnologias para gerar energia com os RSU, tem benefícios adicionais, ao gerar outros subprodutos como biofertilizante na DA e a recuperação de materiais nos sistemas de reciclagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACHILLAS CH, VLACHOKOSTAS CH, MOUSSIOPOULOS N, BANIAS G, KAFETZPOULOS G, KARA-GIANNIDIS A. Social acceptance for the development of a waste-to-energy plant in an urban area. **Resource Conservation Recycling**. 2011;55 (9–10):857–63.
2. AMINI, H.R., REINHART, D.R., 2011. Regional prediction of long-term landfill gas to energy potential. **Waste Management**. v31, 2020–2026.
3. ARENA, U., DI GREGORIO, F., 2013. Element partitioning in combustion- and gasification-based waste-to-energy units. **Waste Management**. 33, 1142–1150.
4. ASSAMOI, B. e LAWRYSHYN, Y., The environmental comparison of landfilling vs. Incineration of MSW accounting for waste diversion. **Waste Management**, volume 32, issue 5, 1019-1030 (2012).
5. BEYLOT, A.; VILLENEUVE, J.; BELLENFANT, G. Life Cycle assessment of landfill biogas management: sensitivity to diffuse and combustion air emissions. **Waste management**, New York, N.Y., v. 33, n. 2, p. 401-411, fev. 2013
6. BERNSTAD e LA COUR JANSEN. Review of comparative LCAs of food waste management systems current status and potential improvements. **Waste Management**. 32(12):2439-55. 2012.
7. BJORKLUND A., FINNVEDEN, G. Recycling revisited—life cycle comparisons of global warming impact and total energy use of waste management strategies. **Resources, Conservation and Recycling**. (44) 309–317. 2005.
8. BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social). Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Fundação de apoio ao desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco. Grupo de Resíduos Sólidos – UFPE. 2013.

9. BOLDRIN, A., KÖRNER, I., KROGMANN, U., CHRISTENSEN, T.H. Composting: Mass balances and product quality. In Christensen, T.H. (Eds.), **Solid Waste Technology & Management**, Chapter 9.3. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester (ISBN: 978-1-405-17517-3). 2010.
10. BOSMANS, A., VANDERREYDT, I., GEYSENC, D., HELSEN, L. The crucial role of waste to energy technologies in enhanced landfill mining: a technology review. **Journal Cleaner Production** 55, 10–23. 2013.
11. BRUNNER, P.H., RECHBERGER, H. Waste to energy – key element for sustainable waste management. **Waste Management**. 37, 3–12. 2015.
12. CHEHEBE, J. R. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. São Paulo: Qualitymark, 1998
13. CHERUBINI F, BARGIGLI S, ULGIATI S. Life cycle assessment (LCA) of wastemanagement strategies: landfilling, sorting plant and incineration. **Energy**. 2009;34(12):2116–23.
14. ECOINVENT, 2015. Swiss center for life cycle inventories (Ecoinvent Centre). **Ecoinvent Database. Ecoinvent Centre**, Dübendorf, 2010. Disponível em: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
15. municipal solid waste management options: a case study of Asturias (Spain). **Journal of Cleaner Production**. (81) 178-189. 2014.
16. FINNVEDEN, G. Life cycle assessment of energy from solid waste—part 1: general methodology and results. **Journal of Cleaner Production**. Suécia. 2005.
17. FINNVEDEN G. *et al.* **Life Cycle Assessments of Energy from Solid Waste, APPENDIX 5**. Stockholms universitet / systemekologiochfoa. September 2000
18. FRUERGGAARD, T., ASTRUP, T. Optimal utilization of waste-to-energy in an LCA perspective. **Waste Management**. 31, 572–582. 2011.
19. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTÁTICA. Censo 2016. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas\\_pdf/total\\_populacao\\_minas\\_gerais.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/total_populacao_minas_gerais.pdf). Acesso em 4 jun 2016.
20. ISO 14.040, **Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework**. Genève: Switzerland. 2006
21. NAKAMURA, C. **Estudo de um sistema de lagoas de estabilização no tratamento de lixiviado e da água subterrânea no entorno de aterros sanitários em Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da Universidade Federal Viçosa. 2012