

### III-354 - ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE CANDELÁRIA - RS

**Ana Letícia Zappe<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC/RS. Mestranda em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC/RS.

**Diosnel Antonio Rodriguez Lopez**

Engenheiro de Minas pela UFOP. Mestre em Engenharia pelo PPGEAM-UFRGS. Doutor em Engenharia Ambiental pela TU Berlin – Alemanha.

**Adan William da Silva Trentin**

Engenheiro Ambiental pela Universidade de Passo Fundo - UPF/RS. Mestre em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC/RS.

**Nathália Silva Bernicker**

Graduanda de Engenharia Ambiental na Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC/RS.

**Gustavo Schafer**

Graduando de Engenharia Ambiental na Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC/RS.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Independência, 2293 - Universitário - Santa Cruz do Sul - Rio Grande do Sul - CEP: 96815-900 - Brasil - Tel: +55 (51) 3717-7300 - Fax: +55 (51) 3717-1855 - e-mail: [anazappe@gmail.com](mailto:anazappe@gmail.com)

#### RESUMO

Este trabalho objetiva realizar um estudo diagnóstico dos impactos ambientais do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos do município de Candelária/RS, com o intuito de inserir o município em um consórcio intermunicipal regional de gerenciamento de resíduos sólidos. Para tal, foi realizado um levantamento de dados do atual cenário de gerenciamento de resíduos sólidos existente no município e as operações em cada etapa constituinte do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos. As informações obtidas através deste inventário foram utilizadas para alimentar o *software* Umberto 5.2, este, utilizado para o estudo de Análise do Ciclo de Vida (ACV). Sendo assim, através desse estudo, foi possível apresentar soluções técnicas com base em características apresentadas pelo município, a fim de minimizar os gastos econômicos e os impactos ambientais decorrente das atividades de coleta, transporte e disposição final e promover a inclusão social.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos Sólidos Urbanos, Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos e Análise do Ciclo de Vida.

#### INTRODUÇÃO

Com o surgimento e o crescimento das grandes aglomerações urbanas, a disposição dos resíduos sólidos gerados torna-se um problema em todo o mundo (GUABIROBA et al, 2013). Atualmente, a produção total anual deste material, em nível mundial, é cerca de 17 bilhões de toneladas e deve chegar a 27 bilhões em 2050 (LAURENT et al, 2013).

Com base no Panorama dos Resíduos Sólidos, a geração total de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil, no ano de 2013, foi de 76.387.200 toneladas, o equivalente a uma geração *per capita* de 1,041 kg/hab./dia. Para os dados de cobertura dos serviços de coleta, o país atingiu um índice de 90,4%, com um total de 69.064.935 toneladas coletadas no ano (ABRELPE, 2014).

A geração RSU vem se tornando uma ameaça para a saúde e a qualidade ambiental dos municípios, uma vez que o manejo inadequado dos resíduos gerados pelas atividades cotidianas resulta na contaminação da água, do solo e da atmosfera. Desta forma, as operações realizadas no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos consistem em ações de coleta e destinação final, sem que ocorra um estudo de viabilidade técnica perante as características apresentadas pelo município, seus gastos econômicos e seus efeitos sociais.

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010 e regulamentada pelo decreto nº 7.404/2010, define resíduos sólidos como um material, substância, objeto ou bem descartado resultante das atividades antrópicas, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Diante das mudanças de paradigmas, a PNRS promove a união entre os instrumentos propostos para o gerenciamento de resíduos sólidos. Neste contexto, a análise do ciclo de vida (ACV) é utilizada para realizar o presente estudo para ajudar na tomada de decisão quanto ao atual cenário do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos, a fim de verificar os seus impactos ambientais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Candelária está localizado a 198 km de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, sob coordenadas geográficas de Lat. 29° 40' 07,56"S e Long. 52° 47' 24,06" O (Datum WGS 1984). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a projeção populacional realizada para o município para o ano de 2014 consiste em 31.407 habitantes.

A metodologia utilizada no estudo está baseada nas orientações dispostas na ABNT NBR ISO 14.044/2009 e 14.040/2009 para análise de ciclo de vida (ACV). O *software* para o ACV do sistema de gerenciamento de RSU do município de Candelária/RS foi o UMBERTO 5.2.

Segundo a normativa, a primeira fase de um estudo de avaliação do ciclo de vida é a definição do escopo. Para tanto, as operações estabelecidas dentro da fronteira do sistema referem-se a coleta e disposição final em um aterro sanitário dos resíduos sólidos gerados na zona urbana do município. Assim, a unidade funcional utilizada no trabalho é a geração de RSU no período de um ano, sendo que para a análise foi utilizada toda a massa coletada no período, repassada pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA). A quantidade utilizada corresponde a uma geração de 12 toneladas/dia de RSU.

Inicialmente, foi realizado um levantamento dos dados em relação a coleta e transporte dos RSU gerados no município, esse, realizado em parceria com a SEMMA. Para tanto, foram considerados os dados referentes à geração de RSU no município, sua composição física, a frota de caminhões, tais como o modelo utilizado e suas características de consumo médio de óleo diesel e capacidade de carga. Também foram identificadas as distâncias percorridas, tanto pela coleta dentro da área urbana até a área de transbordo e da área de transbordo até o aterro sanitário utilizado como disposição final. De acordo com Boer (2007), no ACV, as entradas (inputs) consistem na quantidade de material e energia requerida pelo processo, enquanto que as saídas (outputs) é o termo utilizado para as emissões para o ar, a água e o solo, tendo assim, um inventário de ciclo de vida.

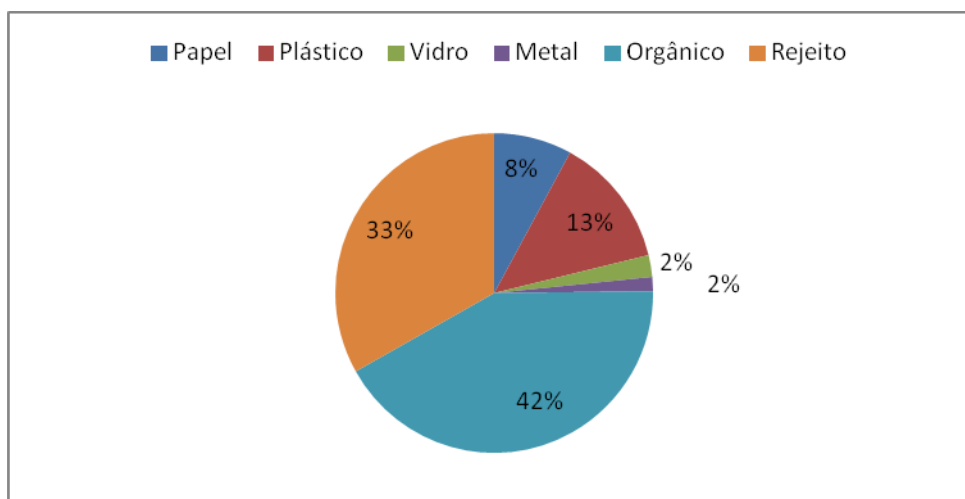
Para a simulação da coleta e transporte dos resíduos coletados foram feitas as seguintes considerações: Os caminhões da coleta percorrem em média 80 km para a coleta do material, disposto em frente das residências pelos moradores do município. Para analisar os impactos do transporte entre o município e o aterro sanitário, foi considerado um caminhão com 25 toneladas de capacidade de carga, percorrendo 130 km até o local da disposição final. O aterro sanitário simulado apresenta 85% da coleta de gases de aterro, com sua posterior queima, assim como a coleta de 90% do lixiviado produzido e 87,5% de eficiência de tratamento. Os valores acima considerados foram derivados de informações obtidas com os operadores de cada etapa do sistema.

Para a caracterização física dos resíduos sólidos urbanos do município, a metodologia utilizada foi a norma ABNT NBR 10.007/2004, a qual fixa os requisitos para amostragem de resíduos sólidos e define como uma amostra homogênea a amostra obtida pela melhor mistura possível das alíquotas dos resíduos, de tal forma que a amostra resultante apresente características semelhantes à dos RSU coletados (amostra representativa). Para resíduos no estado sólido, esta homogeneização deve ser obtida por quarteamento. Para a obtenção da composição física dos RSU, amostras do material coletado em cada área de coleta foram separadas e submetidas a separação manual dos seus componentes.

Após a fase de análise do inventário, passa-se para o processo de avaliação de impactos ambientais. Essa etapa foi realizada com o uso do *software* Umberto 5.2, utilizando o banco de dados da CML, 2002. E, para finalizar, realizou-se a de interpretação dos resultados.

## RESULTADOS

De acordo com o levantamento realizado perante a SEMMA de Candelária/RS, a geração de resíduos sólidos urbanos é de 249,2 toneladas mês<sup>-1</sup>. A composição gravimétrica média dos resíduos está apresentada na Figura 1.



**Figura 1 - Gráfico da composição física média dos Resíduos Sólidos Urbanos do município de Candelária/RS.**

A análise do percentual dos componentes mostra que os resíduos sólidos estão compostos principalmente de matéria orgânica (42% w/w). A percentagem de materiais potencialmente recicláveis é de 23% (vidro, metal, plástico e papel). A quantidade de matéria orgânica presente no lixo desse município é menor que a média nacional, que é de 51,4%. Esta diferença pode estar associada ao perfil mais rural do município, onde a matéria orgânica é utilizada para alimentação de animais. Outro fator que pode ter influenciado na diminuição da quantidade de matéria orgânica presente no lixo é a melhoria da capacidade de conservação, relacionado ao aumento de equipamentos destinados a conservação de alimentos (geladeiras) pela população durante os últimos anos. Ainda, segundo Moura (2012) as características dos resíduos podem variar em função de aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos.

A geração *per capita* de RSU do município é de 0,52 kg/hab.dia, sendo 50% menor que a média nacional (1,041 kg/dia.hab.). Para a média de geração *per capita* calculada para o estado do Rio Grande do Sul, tem-se um valor 27% menor (0,712 kg/dia.hab) (ABRELPE, 2014). O sistema estudado no presente trabalho atinge apenas a área urbana do município, sendo que a zona rural possui outras operações atreladas a seu gerenciamento, inclusive com uma destinação final diferente. Os materiais coletados para fins deste estudo são enviados para o aterro sanitário da SOLVI Soluções Ambientais, localizado no município de Minas do Leão - RS, distante 130 km.

Para a análise do ciclo de vida (ACV), os resultados obtidos referem-se a 11 impactos ambientais calculados para as operações de coleta, transporte e disposição final em um aterro sanitário, pela metodologia CML 2002, incluindo depleção abiótica (kg Sb eq.), acidificação (kg SO<sub>2</sub> eq.), eutrofização (kg PO<sub>4</sub> eq.), ecotoxicidade aquática de água doce (kg p-DCB), ecotoxicidade dos sedimentos de água doce (kg p-DCB), aquecimento global (kg CO<sub>2</sub> eq.), toxicidade humana (kg p-DCB), ecotoxicidade aquática marinha (kg p-DCB), ecotoxicidade do sedimento marinho (kg p-DCB), oxidação fotoquímica (kg etylen) e ecotoxicidade terrestre (kg p-DCB).

Os resultados da ACV referem-se aos valores brutos encontrados para as saídas (outputs) das operações do sistema de gerenciamento de RSU estão apresentados na Tabela 1. Eles mostraram que a coleta é responsável

por maiores contribuições de impactos ambientais para Depleção Abiótica, Acidificação, Eutrofização, Ecotoxicidade Aquática de Água Doce, Ecotoxicidade de Sedimento de Água Doce, Aquecimento Global, Ecotoxicidade Terrestre. Para a disposição final em aterro sanitário, os maiores valores se referem aos impactos de Toxicidade Humana, Ecotoxicidade Aquática Marinha, Ecotoxicidade do Sedimento Marinho e Oxidação Fotoquímica.

Tabela 1 - Valores brutos de *outputs* da ACV do município de Candelária/RS.

Impacto Ambiental do SGRS do município de Candelária/RS	COLETA	TRANSPORTE	ATERRO	TOTAL
Depleção Abiótica (kg Sb eq.)	8.43E+02	2.45E+02	4.29E+02	1.52E+03
Acidificação (kg SO <sub>2</sub> eq.)	7.80E+02	2.22E+02	7.27E+02	1.73E+03
Eutrofização (kg PO <sub>4</sub> eq.)	1.69E+02	4.79E+01	7.86E+01	2.95E+02
Ecotoxicidade Aquática de Água Doce (kg p-DCB eq.)	2.48E+02	4.55E+01	1.86E+02	4.79E+02
Ecotoxicidade dos Sedimentos de Água Doce (kg p-DCB eq.)	2.48E+02	5.78E+01	1.28E+02	4.34E+02
Aquecimento Global (kg CO <sub>2</sub> eq.)	1.29E+05	3.77E+04	6.94E+04	2.36E+05
Toxicidade Humana (kg p-DCB eq.)	1.60E+04	3.20E+03	2.76E+04	4.68E+04
Ecotoxicidade Aquática Marinha (kg p-DCB eq.)	3.37E+05	9.83E+04	3.16E+08	3.17E+08
Ecotoxicidade do Sedimento Marinho (kg p-DCB eq.)	3.35E+05	9.77E+04	1.04E+08	1.05E+08
Oxidação Fotoquímica (kg etileno eq.)	2.88E+01	5.10E+00	5.10E+01	8.49E+01
Ecotoxicidade Terrestre (kg p-DCB eq.)	3.36E+01	6.75E+00	1.82E+01	5.86E+01

Todavia, Reichert (2014), recomenda o uso dos valores normalizados. Sendo assim, a Figura 2 representa um gráfico referente a porcentagem de contribuição para os impactos ambientais totais de todo sistema, com os valores normalizados.

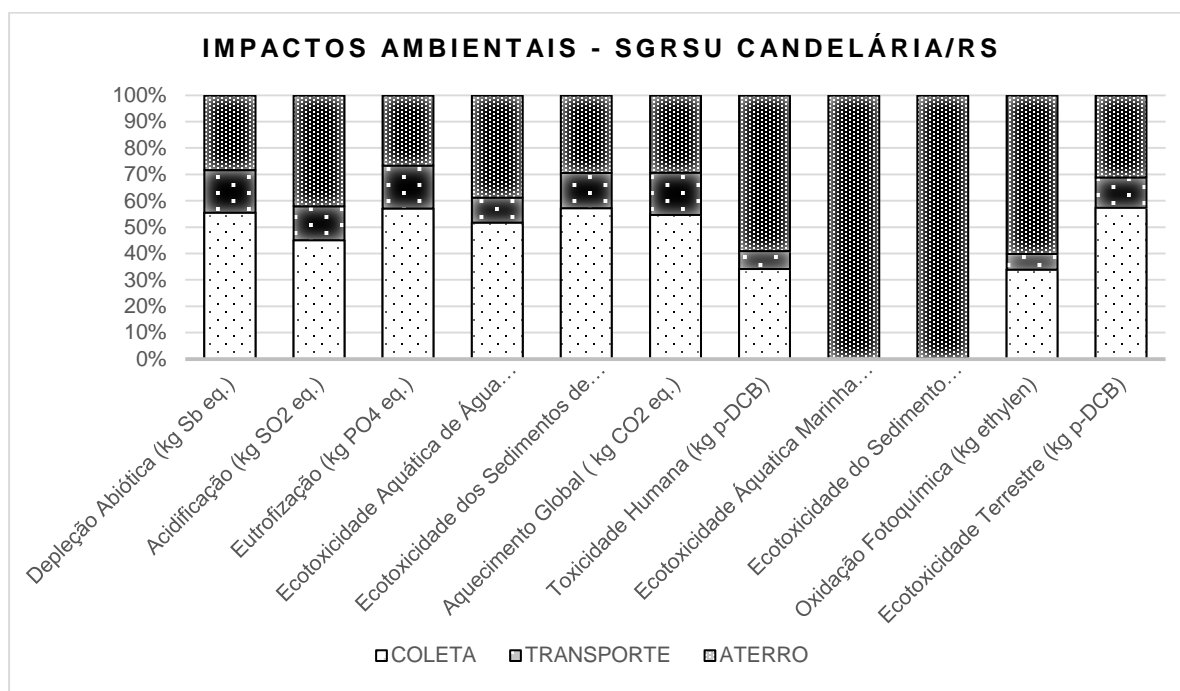


Figura 2 - Impactos Ambientais do Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos (SGRSU) de Candelária/RS.

Para Al-Salem (2014), o transporte contribui para o total de carga ambiental em termos de poluentes emitidos para o ar e estes incluem CO, NOx, hidrocarbonetos (HC) e PM10. A contribuição de CO<sub>2</sub> é o resultado do diesel consumido pelos veículos que transportam os resíduos.

Para os efeitos de toxicidade humana, os processos de transporte contribuem para este impacto principalmente através das emissões de partículas e óxidos de azoto (FERNÁNDEZ-NAVA et al., 2014). Para o aterro sanitário, as emissões de gases contribuem com um elevado grau de importância nesta categoria, embora as contribuições associadas com recuperação de energia a partir de gás de aterro podem gerar benefícios ambientais substanciais. Esse impacto está relacionado com perdas em biogás produzido no aterro e que não é coletado, gerando também uma importante contribuição para a formação de compostos formadores de ácido. O mesmo autor, afirma que o transporte é o responsável pelo maior consumo de combustíveis fósseis devido à utilização de motores diesel, o que também caracteriza um impacto ambiental significativo.

Os veículos a diesel também são os responsáveis pela contribuição ao potencial de eutrofização, principalmente, pelo o fato de ocorrer o escape das emissões durante a combustão (WANG, 2014).

Arena (2003) escreve que a acidificação refere-se a processos que aumentam a acidez dos sistemas como água e solo. Para as emissões potencialmente acidificantes as substâncias são NOx, SOx, NH<sub>3</sub>, HCl entre outras, sendo que sua deposição no ambiente pode levar a danos às populações animais e vegetais.

A categoria de ecotoxicidade e toxicidade humana tem seus níveis de impacto ambiental mais altos na operação de disposição final no aterro sanitário. O principal contribuinte refere-se ao lixiviado oriundo da atividade, e qual contém metais pesados, os veículos utilizados para os processos operacionais de deposição e cobertura dos RSU (MOBERG et al., 2005).

## CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo mostram que a coleta de resíduos sólidos urbanos é responsável por contribuir de forma ativa aos impactos ambientais. Isso se deve ao uso de combustíveis fósseis nos caminhões como motores a diesel utilizados para o transporte dos resíduos.

Em geral, o município tem 23% do seu material coletado que pode ser reciclado (vidro, metal, plástico e papel). Di Maria (2014), relata que a reciclagem desses resíduos tem efeito positivo no que diz respeito à redução dos impactos ambientais decorrente das atividades de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e, que a separação na fonte pode caracterizar uma redução do consumo de combustível e aumentar a intensidade de separação do material. Resultando em uma coleta mais eficiente, um material mais limpo com um valor agregado maior, com potencial de inserção de catadores de materiais recicláveis com a aplicação da coleta seletiva porta a porta atrelado a campanhas de educação ambiental.

Para este tudo, não foram encontrados valores negativos nos impactos ambientais analisados. Reichert (2014) traz que os valores positivos indicam que há uma carga ou um dano ambiental, ou seja, há um impacto devido à emissão das substâncias. Valores negativos indicam um “impacto negativo”, ou seja, significa que há um benefício ambiental (em função da reciclagem de materiais e energia), logo, o município necessita ampliar suas operações dentro do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos e incluir a triagem dos materiais.

A reciclagem também implicaria na diminuição das contribuições para os impactos ambientais referidos no estudo oriundos do transporte, visto que com uma quantidade menor de RSU sendo enviada para o aterro sanitário, consequentemente, ocorrerá uma diminuição no número de viagens para o município de Minas do Leão/RS.

A caracterização física dos RSU mostra que 42% dos RSU gerados e coletados no município de Candelária/RS são matéria orgânica. Assim, do ponto de vista ambiental, uma usina de compostagem reduziria os investimentos em transporte e disposição final e ainda há a possibilidade para se investir em venda de adubo orgânico, sendo que para municípios localizados no interior do estudo, há uma grande procura por este insumo agrícola.

Ao realizar as etapas de triagem e compostagem dos RSU, o município de Candelária tem um alto potencial para diminuir significativamente o material que hoje é enviado ao aterro sanitário de Minas do Leão, promovendo assim



um alcance equivalente das metas propostas pela PNRS, sendo que sua efetividade será em reduzir 65% dos RSU enviados para aterro.

A ACV como instrumento de avaliação do atual sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, através da identificação dos impactos ambientais de cada operação selecionada pelo município para a coleta e disposição final dos seus RSU, auxilia na definição das estratégias de gestão, bem como na elaboração e implantação do plano de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, instituído como documento obrigatório pela Política Nacional de Resíduos Sólidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARENA U.; MASTELLONE, M.L.; PERUGINI F. The environmental performance of alternative solid waste management options: a life cycle assessment study. *Chemical Engineering Journal*, v.96, pg. 207–222, 2003.
2. BOER, J. den.; BOER, E. den.; JAGER, J. LCA-IWM: A decision support tool for sustainability assessment of waste management systems. *Waste Management*, v.27, pg. 1032–1045, APR. 2007.
3. Brasil, Ministério do Meio Ambiente. Lei nº 12.305. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em: 1 de Maio. 2015.
4. DI MARIA, F.; MICALE, C. A holistic life cycle analysis of waste management scenarios at increasing source segregation intensity: The case of an Italian urban area. *Waste Management*, v. 34, pg. 2382–2392, Jul. 2014.
5. FERNÁNDEZ-NAVA, Y.; et ali. Life cycle assessment of different municipal solid waste management options: a case study of Asturias (Spain). *Journal of Cleaner Production*, v. 81, pg. 178-189, Jun. 2014.
6. GUABIROBA, et ali. Eco-efficiency as an auxiliary measure for the definition of interregional public consortia responsible for the collection of recyclable domestic waste. *Journal of Cleaner Production*, v. 68, p. 36-45, Oct. 2013.
7. LAURENT, A et ali. Review of LCA studies of solid waste management systems - Part I: Lessons learned and perspectives. *Waste Management*, v. 34, p. 573-588, Dec. 2013.
8. MOBERG, G. et ali. Life cycle assessment of energy from solid waste—part 2: landfilling compared to other treatment methods. *Journal of Cleaner Production*, v.13, pg. 231–240, 2005.
9. MOURA, A.A.; LIMA, W.S.; ARCHANJO, C.R. Análise da composição gravimétrica de resíduos sólidos urbanos: Estudo de caso - Município de Itaúna- MG. *Synthesis Revista Digital Fapam, Pará de Minas*, v.3, n.3, pg. 4-16, Abr. 2012.
10. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, ABRELPE 2013.
11. REICHERT, G.A.; MENDES, C.A.B. Avaliação do ciclo de vida e apoio à decisão em gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos urbanos. *Eng Sanit Ambient*, v.19, n.3, pg. 301-313, Set. 2014.
12. WANG, H.; WANG, L.; SHAHBAZI, A. Life cycle assessment of fast pyrolysis of municipal solid waste in North Carolina of USA. *Journal of Cleaner Production*, v. 87, pg. 511-519, Sep. 2014.