

## **III-189 - A BRIQUETAGEM A PARTIR DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS COMO ALTERNATIVA PARA REDUÇÃO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

**Leonardo da Cunha Marques<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Ceará. Mestre e doutorando em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental /UFC.

**Ronaldo Stefanutti<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Agrônomo. Doutor pela Universidade de São Paulo. Professor Associado do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará/UFC.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Dr. Márlío Fernandes, 81, apt 1002 D – Patriolino Ribeiro - Fortaleza - CE - CEP: 60810-025 - Brasil - Tel: (85) 98817-5221 - e-mail: [leo.marques@live.com](mailto:leo.marques@live.com)

### **RESUMO**

Este trabalho analisou o uso da briquetagem como alternativa para reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) a partir de resíduos de poda de árvores. A redução de emissões foi analisada por dois aspectos: a redução na geração de biogás se os resíduos não forem destinados ao aterro; e a redução de emissões se o carvão mineral for substituído por briquete. Para tal, foi utilizado o LandGEM, um modelo fornecido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), que estima a concentração de poluentes atmosféricos gerados por aterros sanitários. Para a substituição do carvão, foi calculado o potencial de produção de briquete a partir da massa de poda que chega ao aterro. Os fatores de emissão de poluentes fornecidos pela USEPA foram usados para calcular as emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O pela queima do carvão. O LandGEM mostrou que os resíduos emitiriam 148.197 toneladas de CO<sub>2</sub> até o ano 2140. A produção anual de briquetes geraria energia equivalente a 10.216 toneladas de carvão. A implantação de briquetagem neste aterro evitaria a emissão total de 559.880 toneladas de CO<sub>2</sub>e. Desta forma, a briquetagem pode ser considerada uma alternativa para tratar resíduos sólidos e reduzir emissões de GEE.

**PALAVRAS-CHAVE:** Produção de briquete, Poda de árvore, LandGEM, Gases de Efeito Estufa.

### **INTRODUÇÃO**

A geração de energia elétrica é um dos principais fatores no desenvolvimento econômico de uma nação. Segundo estimativas, 82% do suprimento mundial de energia é gerado a partir de fontes não-renováveis, sendo o setor energético responsável por 68% das emissões globais de Gases de Efeito Estufa (IEA, 2017).

Uma solução para mitigação destes impactos climáticos é o aumento da participação energética de fontes renováveis. Neste contexto, uma das alternativas é a briquetagem, que consiste no processo de fabricação de briquetes, produtos com alto teor calórico, obtidos através da compactação de resíduos lignocelulósicos como poda de árvore ou bagaço de cana (ZAGO et al., 2010).

Neste estudo, foi realizada uma estimativa da redução de emissões através da implantação do processo de briquetagem no Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia (ASMOC), localizado na Região Metropolitana de Fortaleza, Brasil.

### **OBJETIVOS**

Determinar o potencial de redução na emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) pelo Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia (ASMOC) e na queima de carvão mineral no caso do início do reaproveitamento de podas de árvores para a produção de briquetes.

## METODOLOGIA

### Cálculo das emissões no ASMOC oriundas de resíduos lignocelulósicos

No caso de reaproveitamento de poda de árvores para produção de briquetes, foi calculado o quanto esta redução de resíduos destinados ao aterro impactaria nas emissões de GEE. Para tal, foi utilizado o *Landfill Gas Emissions Model* (LandGEM), modelo fornecido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) que estima a concentração de poluentes atmosféricos emitidos por aterros sanitários.

O modelo LandGEM necessita dos seguintes dados de entrada:

- Ano de início de operação do aterro

Para este parâmetro, escolheu-se o ano de 2018, ano de início do reaproveitamento dos resíduos lignocelulósicos para produção de briquetes.

- Ano de encerramento de operação do aterro

Utilizou-se o ano de 2035, ano que representa o fim da vida útil do aterro com as condições atuais.

- Peso anual de resíduos destinados ao aterro

Foram obtidas, junto à Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento Ambiental (ACFOR), as pesagens de podas de árvores destinadas ao ASMOC no período de 2013 a 2017. A quantidade média mensal de podas de árvores foi de 1,120 toneladas (ACFOR, 2017).

- Taxa de geração de metano ( $k$ , ano<sup>-1</sup>)

Valor padrão de 0.05 ano<sup>-1</sup> (USEPA, 2005).

- Capacidade potencial de geração de metano ( $L_0$ , em m<sup>3</sup>/Mg)

Este fator varia entre 6.2 e 270, dependendo do conteúdo orgânico, em especial a celulose. Quanto maior a concentração de celulose, maior este fator. Desta forma, tendo em vista o tipo de resíduo utilizado, foi utilizado o valor máximo de 270 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/Mg (USEPA, 1997).

Com esta configuração, foi calculado somente as emissões que seriam produzidas por resíduos de podas de árvores (desconsiderando os demais tipos de resíduos), entre o período atual (2018, início do projeto) e o fim da vida útil do aterro. O modelo LandGEM utiliza a equação abaixo para estimar a taxa de emissões anuais de metano para o período especificado.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 k L_0 \left( \frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}}$$

Equação (1)

Onde:

$Q_{CH_4}$  = Geração de metano anual no ano do cálculo (m<sup>3</sup>/ano)

$i$  = 1 ano de incremento

$n$  = (ano do cálculo) - (ano do início da operação do aterro)

$j$  = 0.1 ano de incremento

$k$  = taxa de geração de metano (ano<sup>-1</sup>)

$L_0$  = Capacidade potencial de geração de metano (m<sup>3</sup>/Mg)

$M_i$  = Massa de resíduo no ano  $i$  (Mg)

$t_{ij}$  = idade da massa de resíduo  $M_i$  no ano  $i$  da seção  $j$  (ano decimal)

O modelo LandGEM considera que o biogás gerado pelo aterro é constituído por 50% de metano e 50% de dióxido de carbono, além de outros poluentes traço, desconsiderados neste estudo devido à sua baixa emissão (USEPA, 2005). Desta forma, emissão de metano é igual à de dióxido de carbono.

Para obtenção da correspondência entre a emissão de metano para dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e), deve-se levar em consideração o fator de aquecimento global do metano (GWP<sub>CH<sub>4</sub></sub>), que é de 25. (USEPA, 2014). Desta forma, deve-se multiplicar a emissão total de CH<sub>4</sub> pelo fator citado para obtenção da emissão em CO<sub>2</sub>e. Por fim, serão modeladas duas situações: com e sem queima de metano. A equação abaixo representa a emissão anual em CO<sub>2</sub>e advinda da decomposição do resíduo lignocelulósico caso o mesmo continuasse a ser destinado ao aterro. A emissão total foi obtida através do somatório das emissões anuais até o final da sua vida útil do aterro, em 2035.



$$CO_{2\text{aterro}} = (Q_{CH_4} \times GWP_{CH_4}) + Q_{CO_2}$$

Equação (2)

Onde:

$CO_{2\text{aterro}}$  = Emissão total de GEE em unidades  $CO_2e$  ( $m^3/ano$ )

$Q_{CH_4}$  = emissão de metano anual no ano do cálculo ( $m^3/ano$ )

$Q_{CO_2}$  = emissão de dióxido de carbono no ano do cálculo ( $m^3/ano$ )

$GWP_{CH_4}$  = Fator de aquecimento global do metano

#### Potencial de produção de briquetes e de geração de energia

Segundo ACFOR (2017), o ASMOC recebe uma média mensal de 1,120 toneladas de resíduos de podas de árvores. Esta média não apresentou grandes desvios para o período analisado (2013 a 2017). Desta forma, foi considerado que esta média será mantida até o fim da vida útil do aterro, em 2035.

Tendo vista que a briquetagem é um processo de compactação, a massa de resíduos de poda de árvores é igual a massa final de briquetes produzidos pelo processo. Desta forma, tem-se 13,340,000 kg/ano de matéria prima para produção de briquetes.

Em relação ao potencial de geração de energia, o briquete a partir de poda de árvores possui um poder calorífico de 4,500 kcal/kg (Cortez, 2011). Para calcular o potencial de geração anual de energia, multiplicamos o poder calorífico do briquete, em kcal/kg, pela sua produção anual, em kg, conforme equação abaixo.

$$E_{\text{briquete}} = PC_{\text{briquete}} \times M_{\text{briquete}}$$

Equação (3)

Onde:

$E_{\text{briquete}}$  = Geração total de energia elétrica a partir de briquetes (kcal/ano)

$PC_{\text{briquete}}$  = Poder calorífico do briquete (kcal/kg)

$M_{\text{briquete}}$  = Massa de briquetes produzidos por ano (kg/ano)

#### Cálculo da redução nas emissões a partir da substituição de carvão mineral por briquete

De forma análoga à etapa anterior, para calcularmos a redução de emissões no caso da substituição da queima de carvão mineral por briquete produzido a partir de poda de árvores, foi utilizada a equação 4 representada abaixo. O poder calorífico do carvão mineral comercial é de 5,920 kcal/kg (USEPA, 2014).

$$M_{\text{carvão}} = E_{\text{briquete}} / PC_{\text{carvão}}$$

Equação (4)

Onde:

$E_{\text{briquete}}$  = Geração total de energia elétrica a partir de briquetes (kcal/ano)

$PC_{\text{carvão}}$  = Poder calorífico do carvão mineral (kcal/kg)

$M_{\text{carvão}}$  = Massa de carvão mineral a ser substituído por ano (kg/ano)

Por fim, para calcularmos a emissão de GEEs a partir da queima de carvão, foi utilizada a equação 5. Foram considerados os seguintes gases: dióxido de carbono, metano e óxido nitroso. Os fatores de emissão foram obtidos junto a USEPA (2014).

$$Q_{\text{pol}} = M_{\text{carvão}} \times FE_{\text{pol-carvão}}$$

Equação (5)

Onde:

$Q_{\text{pol}}$  = emissão anual de dióxido de carbono equivalente do poluente ( $CO_2$ ,  $CH_4$  e  $N_2O$ ) (kg/ano)

$FE_{\text{pol-carvão}}$  = Fator de emissão do poluente (kg poluente/kg)

$M_{\text{carvão}}$  = Massa de carvão mineral a ser substituído por ano (kg/ano)

Para calcular a emissão anual em unidades de  $CO_2e$ , foi utilizado a equação 6, realizando um somatório das emissões dos três poluentes considerados.



$$CO_2\text{energia} = Q_{CO_2} + (Q_{CH_4} \times GWP_{CH_4}) + (Q_{N_2O} \times GWP_{N_2O})$$

Equação (6)

Onde:

$CO_2\text{energia}$  = Emissão anual de GEE em unidades  $CO_2e$  para geração de energia (kg/ano)

$Q_{CH_4}$  = Emissão de metano anual no ano do cálculo (kg/ano)

$Q_{CO_2}$  = Emissão de dióxido de carbono no ano do cálculo (kg/ano)

$Q_{N_2O}$  = Emissão de óxido nitroso no ano do cálculo (kg/ano)

$GWP_{CH_4}$  = Fator de aquecimento global do metano

$GWP_{N_2O}$  = Fator de aquecimento global do óxido nitroso

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Emissões pelo ASMOC

A emissão de GEEs pelo ASMOC está representado na figura 1, gerada a partir dos resultados do modelo LandGEM. A destinação anual de 13,400 toneladas de resíduos lignocelulósicos para o aterro, entre o período de 2018 e 2035, acarretará a geração de 39,579 toneladas de  $CH_4$  e 108,617 toneladas de  $CO_2$ . A emissão de outros compostos orgânicos não metano (NMOC) é muito baixa e foi desconsiderada para o cálculo das emissões totais. Esta emissão será decrescente após o fim da vida útil do aterro devido ao fim de aporte de resíduos e perdurará até o ano 2140 (conforme figura 1).

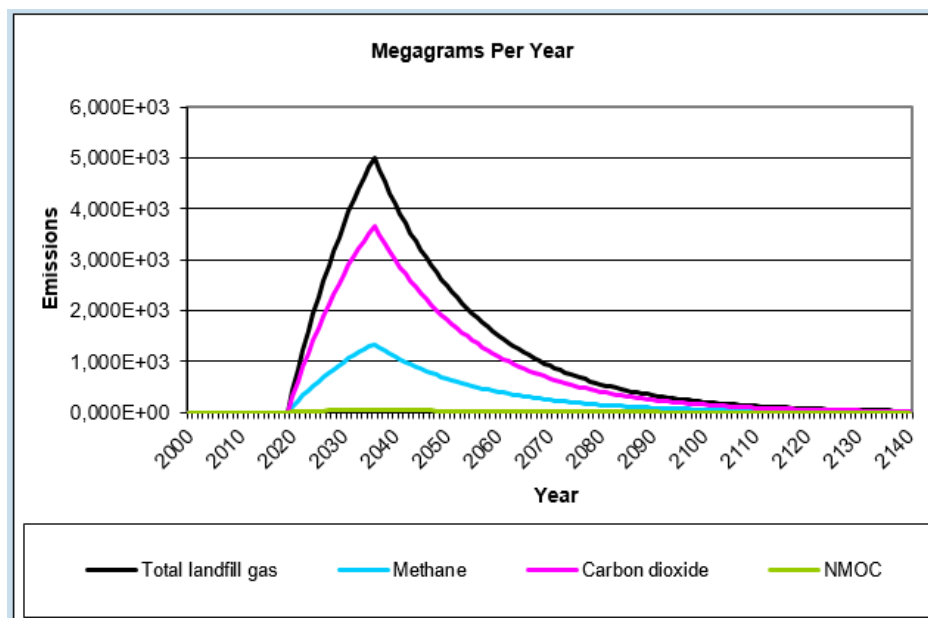


Figura 1. Emissão de GEEs gerados por resíduos de poda de árvores pelo ASMOC.

Caso o gás metano emitido pelo aterro não for queimado na saída, com o intuito de convertê-lo em  $CO_2$  e por consequência reduzir seu fator de aquecimento global, a emissão total de GEEs será de 1,098,292 toneladas de  $CO_2e$ . Com a queima do metano, a emissão total para o período estudado de GEEs será de 148,197 toneladas de  $CO_2$ .

### Emissões pela queima de carvão mineral

Em relação à substituição do carvão mineral por briquete, tem-se que o reaproveitamento de resíduos lignocelulósicos pode levar a geração de 13,440 toneladas de briquetes por ano. Esta massa de briquetes, ao ser multiplicado pelo seu poder calorífico, é capaz de gerar 60,480 Gcal. Para gerar esta mesma quantidade de energia a partir de carvão mineral, seriam necessárias 10,216 toneladas por ano.

Utilizando a equação 5, obteve-se que a queima destas 10,216 toneladas de carvão mineral emitiria 22,700 toneladas de  $CO_2$ /ano, 2,65 toneladas de  $CH_4$ /ano e 0,38 toneladas de  $N_2O$ /ano, conforme as equações abaixo.



$$Q_{CO_2} = 10,216 \frac{\text{ton carvão}}{\text{ano}} \times 2,222 \frac{\text{ton } CO_2}{\text{ton carvão}} = 22,700 \frac{\text{ton } CO_2}{\text{ano}} \quad \text{Equação (7)}$$

$$Q_{CH_4} = 10,216 \frac{\text{ton carvão}}{\text{ano}} \times 259 \frac{\text{g } CH_4}{\text{ton carvão}} \times \frac{1 \text{ ton}}{10^6 \text{ g}} = 2.65 \frac{\text{ton } CH_4}{\text{ano}} \quad \text{Equação (8)}$$

$$Q_{N_2O} = 10,216 \frac{\text{ton carvão}}{\text{ano}} \times 37,5 \frac{\text{ton } N_2O}{\text{ton carvão}} \times \frac{1 \text{ ton}}{10^6 \text{ g}} = 0.38 \frac{\text{ton } N_2O}{\text{ano}} \quad \text{Equação (9)}$$

Utilizando a equação 6, obtemos uma emissão global de 22,880 toneladas de CO<sub>2</sub>e/ano, conforme a equação 10. Totalizando as emissões do período estudado (2017 a 2035), obtemos uma emissão total de 411,676 toneladas de CO<sub>2</sub>e.

$$\begin{aligned} CO_{2\text{energia}} &= 22,700 \frac{\text{ton } CO_2}{\text{ano}} + \left( 2.65 \frac{\text{ton } CH_4}{\text{ano}} \times 25 \right) + \left( 0.38 \frac{\text{ton } N_2O}{\text{ano}} \times 298 \right) \\ &= 22,880 \frac{\text{ton } CO_2e}{\text{ano}} \end{aligned} \quad \text{Equação (10)}$$

#### Emissões totais

Embora a queima de briquetes emita poluentes atmosféricos, o fator de emissão de CO<sub>2</sub> foi considerado nulo. Isto se deve pelo fato do briquete ser considerado uma fonte de energia renovável, tendo em vista que durante o desenvolvimento da matéria vegetal o CO<sub>2</sub> foi absorvido na fotossíntese.

Somando as emissões oriunda do ASMOC e as da queima do carvão mineral, obtemos um total de 559,880 toneladas de CO<sub>2</sub>e. Este valor representa as emissões que deixariam de ser liberadas na atmosfera na hipótese da implantação do processo de briquetagem.

Por fim, dividindo esta emissão total pela produção de briquetes, observou-se que cada tonelada de briquete produzida de resíduos lignocelulósicos evitaria a emissão de 2.31 toneladas de CO<sub>2</sub>e.

## CONCLUSÕES

Através deste estudo, foi possível avaliar o impacto na redução de emissões de GEEs com a implantação do processo de briquetagem a partir de resíduos lignocelulósicos no ASMOC. Com o auxílio do modelo LandGEM, foi observado que, caso destinados ao aterro, os resíduos de poda de árvores emitiriam 148,197 toneladas de CO<sub>2</sub> até o ano de 2140.

A produção anual de briquetes a partir de poda de árvores possibilitaria a redução no uso de carvão mineral para geração de energia. A produção anual de briquetes gera energia equivalente a 10,216 toneladas de carvão mineral. Esta substituição faria com que 411,676 toneladas de CO<sub>2</sub>e (22,880 toneladas de CO<sub>2</sub>e por ano, até o fim da vida útil do aterro em 2035) não fossem emitidas para a atmosfera.

A implantação da briquetagem neste aterro evitaria a emissão de 559,880 toneladas de CO<sub>2</sub>e. Cada tonelada de briquete produzida evitaria a emissão de 2.31 toneladas de CO<sub>2</sub>e. Desta forma, pode-se considerar a briquetagem como uma alternativa para redução de emissões de GEEs.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cortez, C.L. (2011). *Estudo do potencial da utilização da biomassa resultante da poda de árvores urbanas para a geração de energia: estudo de caso – AES Eletropaulo*. São Paulo, 256 pp.
2. International Energy Agency (2017). *CO2 Emissions From Fuel Combustion: Overview*. 14 pp.
3. Prefeitura Municipal de Fortaleza, Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento Ambiental (2017). *Planilha de controle de resíduos destinados ao ASMOC*. Fortaleza, 1 pp.



4. United States Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation (1997). *Emission Factor documentation for AP-42 section 2.4 - Municipal Solid Waste Landfills*. North Carolina, 544 pp.
5. United States Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation (2014). *Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories*. North Carolina, 5 pp.
6. United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development (2005). *Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide*. Washington, DC, 56 pp.
7. United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development (2008). *Background Information Document for Updating AP42 Section 2.4 for Estimating Emissions from Municipal Solid Waste Landfills*. Washington, DC, 249 pp.
8. Zago, E.S., Froehlich, A.G., Pelegrini, P.H. and Sifuentes, M.A. (2010). O processo de briquetagem como alternativa de sustentabilidade para as indústrias madeireiras do município de Aripuanã-MT. *Revista Technoeng.* 2 (I) pp. 22-34.