

### III-433 – RECUPERAÇÃO DE ENERGIA DO RESÍDUO DOMICILIAR POR MEIO DO PROCESSO DE COMBUSTÃO E SUA RELAÇÃO COM OS GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE)

**Eneida Campos Felipe de Brites<sup>(1)</sup>**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Católica Dom Bosco – UCDB (2004). Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília - UnB (2008). Professora do Instituto Federal de Brasília – IFB, *Campus Estrutural*.

**Carlo Renan Cáceres de Brites**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS (2004). Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília – UnB (2008). Atualmente é engenheiro (Analista de Sistemas de Saneamento II) da Gerência de Recursos Hídricos e Segurança de Barragem na Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** DF 250, km 2,5 – Condomínio Mansões Entre Lagos, Etapa 3, Conj. C, Casa 18 – Região dos Lagos - DF - CEP: 73.255-901 - Brasil - Tel: (61) 3879-6107 - e-mail: eneida.brites@ifb.ed.br

#### RESUMO

O uso intensivo dos recursos naturais para geração de energia, causa impactos negativos ao meio ambiente natural, social e econômico. O tratamento dos RSUs para a geração de energia elétrica contribui para reduzir o volume e massa dos resíduos; minimizar as áreas necessárias para construção de aterros; reduzir emissões gasosas e efluentes líquidos; aumentar a oferta de energia elétrica e diversificar a matriz de geração. Neste contexto as tecnologias de recuperação energética do lixo, *waste-to-energy*, (WTE) podem ser uma opção para as estratégias de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. É um processo de redução do peso, volume, periculosidade e patogenicidade mediante combustão controlada onde uma preocupação é a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). Este trabalho objetivou analisar - mediante os dados do Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PDGIRS) do Distrito Federal – o potencial de recuperação de energia do Resíduo Domiciliar (RDO) coletado do Distrito Federal, pela combustão de resíduos para energia e estimar os principais GEE ( $\text{CO}_2$ ;  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ). A elaboração deste trabalho consistiu em: Identificação da composição média do Resíduo Domiciliar (RDO) no Distrito Federal; verificação do potencial de geração energia a partir de RDO e a estimativa do quantitativo de geração dos GEE. Foram considerados dois cenários: **Cenário 1** – Incineração da quantidade total de resíduo coletado considerando fator de redução *per capita* e o aumento no atendimento aos serviços de coleta de resíduo e **Cenário 2** – Incineração considerando a meta do PDGIRS da redução de RDO a serem dispostos em aterros sanitários, para os próximos 20 anos. Ainda que o **cenário 2** tenha, uma perspectiva de aumento gradativo da valorização do resíduo por meio reciclagem e compostagem (28% de aproveitamento), a quantidade de resíduo domiciliar útil para incineração ainda será de 2.086 ton/dia em 2037. Neste cenário, a estimativa do potencial de recuperação energética foi de 118.225 MWh/ano. A estimativa de geração de GEE no **cenário 1** apresentou o um aumento próximo de 23% de GEE ao final da projeção em 20 anos, sendo 2.675  $\text{GgCO}_2/\text{ano}$ , 8,4  $\text{tonCH}_4/\text{ano}$  e 88,6  $\text{tonN}_2\text{O}/\text{ano}$ .

**PALAVRAS-CHAVE:** Recuperação de energia, processo de combustão, Gases de Efeito Estufa (GEE).

#### INTRODUÇÃO

O crescimento na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), impulsionado pelo aumento da densidade populacional, aliado ao uso intensivo dos recursos naturais para geração de energia, causa impactos negativos ao meio ambiente natural, social e econômico, levando a um desequilíbrio na sociedade atual. Este aumento está associado ao desenvolvimento econômico, ao crescimento populacional, à urbanização e à revolução tecnológica, passando a abrigar ao longo do tempo em suas composições elementos sintéticos e perigosos aos ecossistemas e à saúde humana quando não dispostos ou tratados adequadamente (Gouveia, 2012).

Dentro das práticas adotadas no Brasil para disposição final do RSU estão os aterros sanitários, seguidos dos aterros controlados e “lixões”. Segundo Morgado e Ferreira (2006), levando em conta a falta de disponibilidade

de áreas próximas à cidade para a construção de um novo Aterro Sanitário, observando a questão da problemática com a vizinhança, que não quer um Aterro Sanitário instalado em seu quintal, bem como, considerando o fator dos custos e dos riscos de transporte desses RSU para grandes distâncias ser inviável, observa-se a necessidade de se implantar uma tecnologia de tratamento desses RSU, que venha atender a demanda crescente do lixo urbano produzido diariamente, de forma a diminuir a quantidade de resíduos descartados no Aterro Sanitário, e consequentemente aumentar sua vida útil.

No tocante a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Lei Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010 - estabelece para que a destinação final seja feita de maneira a garantir a maior reintegração dos resíduos no sistema produtivo (Brasil, 2010), sempre deve ser observada a viabilidade técnica e viabilidade econômico-financeira dos projetos. Para tanto a PNRS estabelece na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: (1) não geração, (2) redução, (3) reutilização, (4) reciclagem, (5) tratamento dos resíduos sólidos e (6) disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Desta forma, as tecnologias de compostagem e as diferentes tecnologias de tratamento térmico com recuperação energética estão no mesmo nível hierárquico, uma vez que são tecnologias de tratamento de resíduos, todas possibilitando a recuperação de algum componente contido nos resíduos, bem como a redução de volume dos resíduos dispostos no solo.

No âmbito do Distrito Federal, a Lei Distrital nº 5.418, de 24 de novembro de 2014, instituiu a Política Distrital de Resíduos Sólidos (Distrito Federal, 2014), estabelecendo dentre outros critérios a elaboração do Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PDGIRS), publicado em março do presente ano, em consonância ao que dispõe a Lei federal 12.305/2010.

O tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos –RSU para a geração de energia elétrica contribui para reduzir o volume e massa dos resíduos; minimizar as áreas necessárias para construção de aterros; transformar resíduos em rejeitos ambientalmente adequados para disposição final; reduzir emissões gasosas e efluentes líquidos; aumentar a oferta de energia elétrica, diversificar a matriz de geração e diminuir o risco de déficit energético; melhorar a saúde pública e a qualidade de vida da população envolvida pelo tratamento (EPE, 2008). Neste contexto, as tecnologias de recuperação energética do lixo ou ainda *resíduo para energia* (*waste-to-energy* - WTE) recuperam energia, ao mesmo tempo em que reduzem o volume de lixo a ser enviado para disposição final.

Apesar de diferentes, as várias tecnologias WTE têm os mesmos objetivos gerais – o gerenciamento dos resíduos sólidos e a geração de energia. As tecnologias de conversão são geralmente divididas em três categorias: termoquímica (combustão, gaseificação, pirólise, plasma e liquefação), bioquímica (digestão anaeróbica, compostagem e fermentação) e físico-química (transesterificação para extração de oleaginosas) (Pavan, 2010).

Segundo Tchobanoglous e Kreith (2002), a combustão de *resíduo para energia* é uma tecnologia importante para a gestão municipal de resíduos sólidos. Mas a utilização desse tecnologia têm sido abrandada, enquanto que as comunidades lutam com questões que variam desde o controle de geração ao impacto na reciclagem, até a relação custo-eficácia e a aceitabilidade política.

No entanto, a combustão de *resíduo para energia* pode ser um fator importante em um ambiente totalmente integrado para a estratégia de gestão de resíduos sólidos. Neste caso, somente os resíduos não recicláveis, que precisariam ser dispostos em aterros, seriam enviados às WTE. Isto ocasionaria, na maior parte das vezes, o aumento do valor energético dos resíduos sólidos utilizados no processo de conversão energética, o que é altamente positivo (Bastos, 2013).

O termo tradicional *incineração* adquiriu uma conotação pejorativa na mente das pessoas devido ao mau funcionamento de alguns queimadores de lixo no passado. Portanto, o termo *combustão de resíduo para energia* é agora amplamente usado em seu lugar (Tchobanoglous e Kreith, 2002).

A principal preocupação quanto à tecnologia de combustão de resíduos sólidos, é a emissão de poluentes na atmosfera com a liberação de toxinas (dioxinas e furanos), metais pesados (mercúrio, chumbo e cádmio), material particulado e gases ácidos (cloreto de hidrogênio, fluoreto de hidrogênio, dióxido de enxofre e óxidos

nitrosos) – que afetam negativamente a população e o meio ambiente. Como consequência de pressões ambientais e políticas, foram adotadas técnicas de limpeza de gases, as emissões nocivas foram largamente eliminadas – mas resultaram, também, em aumento de custos de Operação e Manutenção, e em aumento do consumo de energia no sistema.

No tocante a emissões de gases de efeito estufa, consiste as Diretrizes de 1996 (IPCC, 1997), somente as emissões de CO<sub>2</sub> resultantes da oxidação, durante a incineração de carbono em resíduos de origem fóssil (por exemplo, plásticos, certos têxteis, borracha, solventes líquidos e resíduos petróleo) são consideradas emissões que devem ser incluídas na estimativa nacional de emissões de CO<sub>2</sub>. As emissões de CO<sub>2</sub> da combustão de materiais de biomassa (por exemplo, papel, alimentos e resíduos de madeira) contidos nos resíduos são emissões biogênicas e não devem ser incluídas nas estimativas nacionais de emissões totais. No entanto, se a incineração de resíduos for utilizada para fins energéticos, devem ser estimadas as emissões de CO<sub>2</sub> fósseis e biogênicas.

O método comum para estimar as emissões de CO<sub>2</sub> a partir da incineração e da queima aberta de resíduos baseia-se na estimativa do teor de carbono fóssil nos resíduos queimados, multiplicada pelo fator de oxidação, e convertendo o produto (quantidade de carbono fóssil oxidado) a CO<sub>2</sub>. Os dados da atividade são as entradas de resíduos no incinerador ou quantidade de resíduos queimados, e os fatores de emissão são baseados no teor de carbono oxidado do resíduo que é de origem fóssil. Dados relevantes incluem a quantidade e composição dos resíduos, o teor de matéria seca, o total de conteúdo, a fração de carbono fóssil e o fator de oxidação. Conforme IPCC (2006), existem 3 métodos para estimativa de emissões de CO<sub>2</sub> oriundos da incineração de RSU. Os métodos diferem pelo tipo de dados disponíveis, quais sejam: valores padrões dos fatores de emissão e parâmetros (Nível 1), valores específicos do país (Nível 2a, Nível 2b) ou específico da planta (Nível 3), conforme apresentado na Tabela 1..

**Tabela 1 - Resumo da fonte de dados para diferentes níveis de controle e mensuração**

Nível	Montante Total de Resíduos (W)	Fração de resíduo (WF): % de cada componente principal para RSU	Conteúdo de matéria seca (dm)	Fração de Carbono (CF)	Fração de Carbono Fóssil (FCF)	Fator de Oxidação
<b>Nível 3</b>	Específico da planta ou gestão específica	Específico da planta ou gestão específica	Específico da planta ou gestão específica	Específico da planta ou gestão específica	Específico da planta ou gestão específica	Específico da planta ou gestão específica
<b>Nível 2b</b>	Específico do País	Específico do País	Específico do País	Específico do País	Padrão/Específico do País	Padrão/Específico do País
<b>Nível 2a</b>	Específico do País	Específico do País	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão
<b>Nível 1</b>	Padrão/ Específico do país	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão

Emissões de CH<sub>4</sub> de incineração ou queima a céu aberto são resultados de uma combustão incompleta. Fatores importantes que afetam as emissões são: temperatura, tempo de residência e taxa de ar (ou seja, volume de ar em relação ao total de resíduo). As emissões de CH<sub>4</sub> são particularmente relevantes na queima à céu aberto, onde grande fração de carbono no resíduo não é oxidado. Essas condições podem variar muito, pois o resíduo sólido é muito heterogêneo e com baixa qualidade de combustível com variações no poder calorífico. Em muitas plantas incineradoras bem operadas, emissões de CH<sub>4</sub> são usualmente muito baixas.

A emissão de óxido nitroso ocorre em processos de combustão com temperatura relativamente baixas entre 500 e 950°C. Outro fator importante que afeta a emissão são os tipos de instrumentos de controle da poluição do ar, tipo de resíduos, conteúdo de nitrogênio nos resíduos e a fração de excesso de ar. Emissões de N<sub>2</sub>O da combustão de resíduos fósseis líquidos podem ser considerados insignificantes, a menos que dados específicos do país indiquem ao contrário. Os melhores resultados da estimativa de emissões de N<sub>2</sub>O podem ser obtidos no caso de se ter disponíveis de dados específicos de monitoramento de plantas incineradoras.

O principal objetivo deste trabalho é analisar a recuperação de energia do Resíduo Domiciliar (RDO) do Distrito Federal, por meio processo de combustão, considerando o Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PDGIRS) para redução de disposição final de RDO em aterro sanitário, bem como estimar um dos principais problemas com relação a geração de Gases de Efeito Estufa – GEE, sendo o quantitativo de geração dos poluentes CO<sub>2</sub>; CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O para o referido processo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar o propósito deste trabalho foram realizadas pesquisa bibliográfica, levantamento dos dados sobre produção, caracterização, coleta e disposição final do RSU do Distrito Federal apresentados no Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - PDGIRS (Distrito Federal, 2018), bem como informações constantes em literatura. Desta forma o trabalho consistiu basicamente em 3 etapas:

01. Identificação da composição média do Resíduo Domiciliar (RDO) no Distrito Federal;
02. Verificação do potencial de geração energia a partir de RDO; e
03. Estimativa do quantitativo de geração dos poluentes CO<sub>2</sub>; CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O.

## PRIMEIRA ETAPA: IDENTIFICAÇÃO DA COMPOSIÇÃO MÉDIA DO RESÍDUO DOMICILIAR (RDO) NO DISTRITO FEDERAL

Para caracterização da situação atual do gerenciamento e da composição gravimétrica dos RSU coletados no Distrito Federal foram utilizados os dados disponíveis do Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - PDGIRS (Distrito Federal, 2018), o qual contém dados sobre a geração e composição gravimétrica dos resíduos sólidos do Distrito Federal, conforme Tabela 2.

**Tabela 2 – Composição Gravimétrica dos RDO das Coletas Convencionais (Distrito Federal, 2018)**

Classificação	Material	Média (%)
Resíduos Orgânicos	Resíduos Alimentares/Jardins	48,34
Papeis	Papelão Ondulado, papel Branco, papel Misto, Outros papéis	10,75
Plásticos	PEAD, Plástico Filme Preto, Plástico Filme Misto, Outros Plásticos	14,34
Metais	Ferrosos, Alumínios e outros	1,50
Vidros	Vidros	2,05
Outros Resíduos	Outros Resíduos*	6,14
Rejeitos	Areia, pedras e contaminantes biológicos	16,85
Total		100

\* Vestuários, borracha, Madeira, Isopor, Pilhas, Baterias, medicamentos entre outros resíduos que não pertenciam a nenhuma tipologia citada na classificação.

A rota tecnológica do balanço de massa do fluxo de Resíduo Domiciliar (RDO) no Distrito Federal em 2015, apresentou uma coleta de 2878 t/dia de RDO, sendo destas 70,4% são dispostas diretamente no aterro sem passar por nenhum processo de valorização do resíduo (coleta seletiva/segregação e Unidade de Tratamento Mecânico e Biológico de Resíduo Sólido – UTMB).

## SEGUNDA ETAPA: POTENCIAL DE GERAÇÃO ENERGIA A PARTIR DE RDO

Para a determinação das quantidades de resíduos a serem incineradas diariamente foi considerada a quantidade de RDO da coleta convencional descrita no PDGIRS. Considerando que o mesmo, projeta a redução da

quantidade de resíduo dispostos em aterro sanitário, sendo a diferença entre o RDO total coletado e as metas para valorização de resíduos, ou seja, material composto e reciclável, o referido trabalho avaliou dois cenários a fim de comparar a influência das metas para valorização de resíduos, para os próximos 20 anos, na geração de energia mediante a incineração:

- **Cenário 1** – Incineração da quantidade total de resíduo coletado considerando apenas o fator de redução per capita e o aumento no atendimento aos serviços de coleta de resíduo, conforme previsto no PDGIRS do Distrito Federal para os próximos 20 anos;
- **Cenário 2** – Incineração considerando a meta da redução da quantidade de resíduos a serem dispostos em aterros sanitários de acordo com as metas previstas no PDGIRS para os próximos 20 anos.

Neste trabalho não se considerou, para os dois cenários, a porcentagem de vidros e metais correspondente em 3,55%, pois estes são inertes e quase não colaboram com a estimativa do Poder Calorífico do RDO.

O potencial de recuperação energética dos RDO foi estimado por meio da potência total teórica. Para a determinação dos conteúdos energéticos teóricos, foram utilizados os valores de Poder Calorífico Inferior (PCI) das frações de materiais disponibilizadas em Poletto (2008), quais sejam: 758, 738 e 521 kcal/kg para papéis, resíduos orgânicos e plásticos, respectivamente. Para outros resíduos (conforme classificação do PDGIRS, Tabela 1) foi utilizado o PCI de geração de energia de 0,95 kWh/ton de resíduos (Menezes *et al.*, 2000).

Na geração de energia existem perdas no processo de incineração, dependendo de diversos fatores relacionados ao combustível utilizado, ao tipo de incinerador utilizado e à rotina operacional, influenciando na eficiência eletromecânica de uma planta incineradora. Em vista disso, foi utilizada nesse trabalho a eficiência global considerando uma eficiência conservadora de 26% (Saffer e Duarte, 2011). Dessa forma, para a determinação do total teórico de energia gerada em kWh/dia, utilizou-se a Equação 1 (Poletto, 2008):

$$E_T = PCI_T \times K \times \eta_e \times m_{RSU} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:  $PCI_T$  - conteúdo energético dos RSU em base úmida em kcal/kg, adotados 758, 738 e 521 para papéis, orgânicos e plásticos, respectivamente;  $K$  - fator de conversão de kcal para kWh ( $K = 0,001163$ ),  $\eta_e$  - a eficiência eletromecânica da planta incineradora. (26%) e  $m_{RSU}$  - quantidade de RSU a ser incinerada diariamente em kg, percentual do total de acordo com composição gravimétrica de resíduos do DF.

Também foi considerada a média mensal de consumo residencial de energia elétrica no Distrito Federal de 188 kWh/mês (EPE, 2017), e o preço médio de venda de energia elétrica - resultado do Leilão de Geração nº 06/2017 - de R\$ 177,46 por MWh (ANEEL, 2018), para a determinação da economia gerada, a fim de constatar a viabilidade econômica com a energia gerada na recuperação energética dos RDO.

## RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

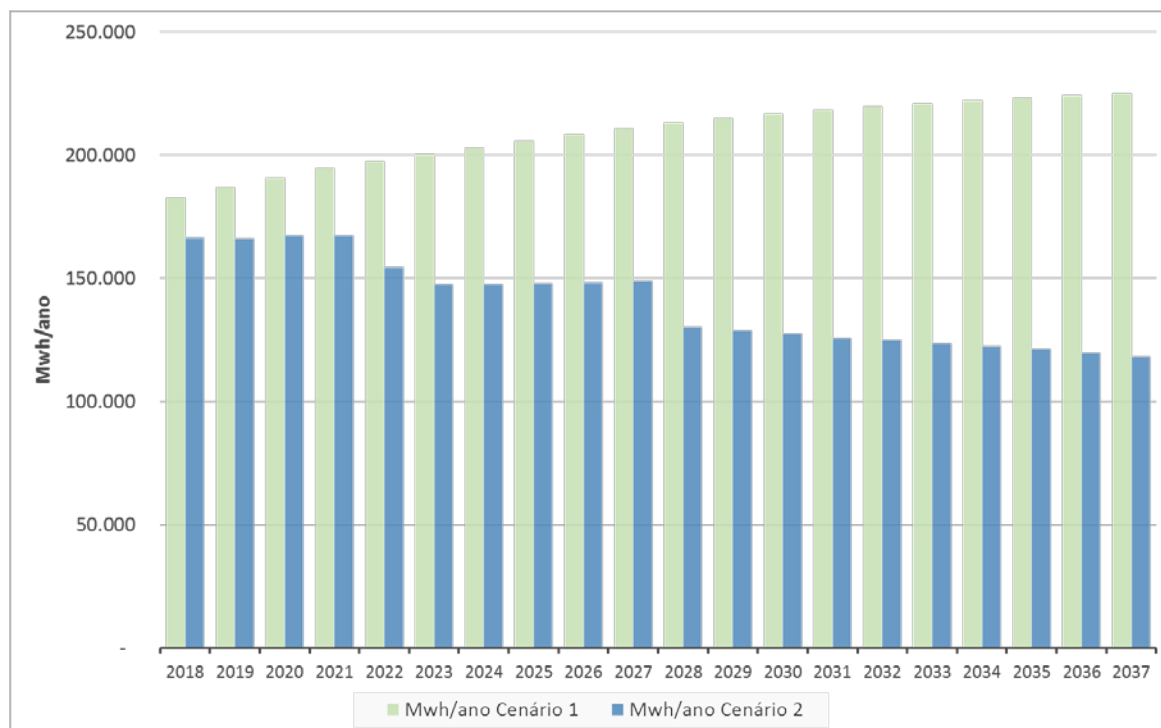
Para o ano de 2018 foram estimadas a quantidade de resíduos coletado de RDO de 1.199.862 ton/ano e 1.070.390 ton/ano, para o **cenário 1 e 2**, respectivamente. Para o ano de 2037 a quantidade de RDO coletada prevista para ambos os cenários é de 1.447.787 ton/ano e 761.246 ton/ano, respectivamente. No cenário menos favorecido a quantidade de resíduos coletado de RDO a serem incinerados seria de 2.086 ton/dia.

O potencial teórico de geração de energia do RDO coletado do Distrito Federal foi de 612,75 kWh/ton. Os estudos obtidos para o aproveitamento energético de RSU de Campo Grande/MS foi de 546,2 kWh/ton (EPE, 2008).

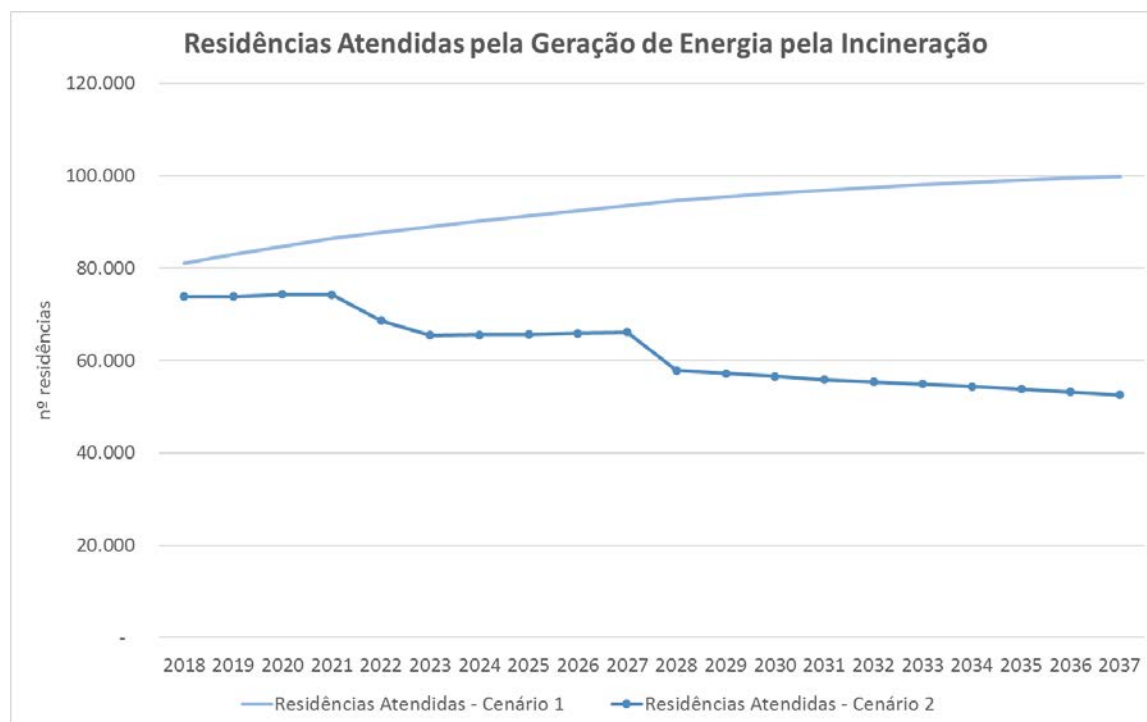
A estimativa do potencial de geração de energia elétrica foi de 20,86 e 18,98 MW, para os **cenários 1 e 2**, respectivamente no ano de 2018 e no ano de 2037 a estimativa é de 25,68 e 13,50 MW, para os **cenários 1 e 2**, respectivamente. O potencial médio de geração de energia elétrica a partir da incineração do RSU de Campo Grande é de 11,4 MW (EPE, 2008).



A Figura 1 e 2 apresenta o potencial de recuperação energética de ROD por ano e estimativa de residências atendidas. Os valores estimados para o **cenário 1** em 2018 foi de 182.694 Mwh/ano o que atenderia 81.128 residências, para 2037 a estimativa foi de 224.943 Mwh/ano correspondendo a 99.889 residências atendidas. Para o **cenário 2** o valor encontrado foi de 166.307 Mwh/ano atendo 73.851 residências em 2017 e de 118.225 Mwh/ano e 52.522 de residências atendidas em 2037.



**Figura 1: Potencial de geração de energia em termos de Mwh**



**Figura 2: Estimativa de residência atendidas pela geração de energia.**

### TERCEIRA ETAPA: ESTIMATIVA DO QUANTITATIVO DE GERAÇÃO DOS POLUENTES CO<sub>2</sub>; CH<sub>4</sub> E N<sub>2</sub>O

Os dados utilizados para a quantificação estimada de geração de Gases de Efeito Estufa - GEE foram obtidos a partir de IPCC, (2006). A estimativa de GEE, como o CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (potencial de geração de metano) e N<sub>2</sub>O foram obtidos a partir das Equações 2, 3, 4, respectivamente.

$$CO_2Emitido = \sum_i (SW_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \times 44/12 \quad \text{Equação 2}$$

Onde: **CO<sub>2</sub>Emitido** - emissão de CO<sub>2</sub> do inventário anual (Gg/ano); **SW<sub>i</sub>** - quantidade total de resíduos sólidos do tipo i (peso úmido) Gg/ano, percentual do total de acordo com composição gravimétrica de resíduos do DF; **dm<sub>i</sub>** - teor de matéria seca dos resíduos (peso úmido), adotados 0,9; 0,6 e 1 para papéis, orgânicos e plásticos respectivamente; **CF<sub>i</sub>** - fração de carbono na matéria seca, adotados 0,44 e 0,38 para papéis e orgânicos, respectivamente; **FCF<sub>i</sub>** - fração do carbono fóssil do carbono total, adotados 1 para papéis e plásticos, respectivamente; **OF<sub>i</sub>** - fator de oxidação (fração), adotado 1 para papéis, orgânicos e plásticos; **44/12** = fator de conversão do C para CO<sub>2</sub> e i - tipo de resíduo incinerado.

$$CH_4Emitido = \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \quad \text{Equação 3}$$

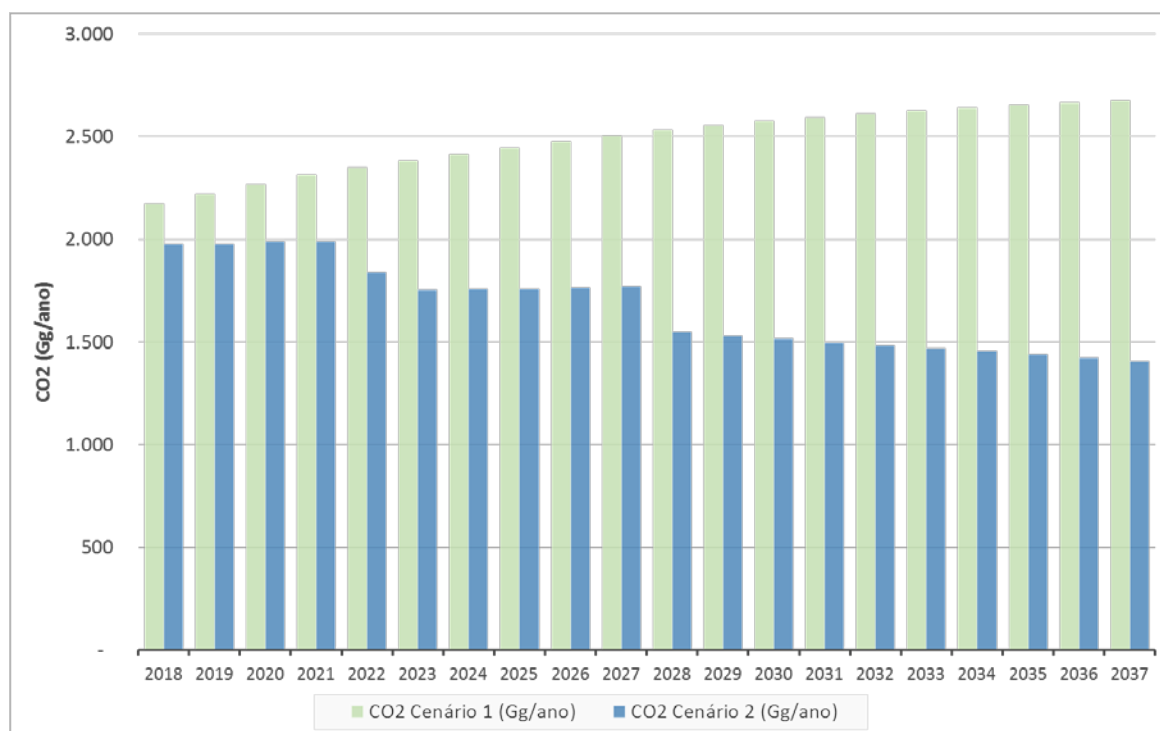
Onde: **CH<sub>4</sub>Emitido** - emissão de CH<sub>4</sub> do inventário anual (Gg/ano); **W<sub>i</sub>** - Massa de resíduo incinerado por tipo i [Gg/ano], percentual do total de acordo com composição gravimétrica de resíduos do DF; **EF<sub>i</sub>** - Fator de emissão i [kgCH<sub>4</sub>/Gg], adotado 6 kg/Gg de resíduo incinerado sendo considerado incinerador de grelha de fluxo semi-contínuo e i - tipo de resíduo no processo

$$N_2OEmitido = \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \quad \text{Equação 4}$$

Onde: **N<sub>2</sub>O Emitido** - emissão de CO<sub>2</sub> do inventário anual (Gg/ano); **W<sub>i</sub>** - Massa de resíduo incinerado por tipo i [Gg/ano], percentual do total de acordo com composição gravimétrica de resíduos do DF; **EF<sub>i</sub>** - Fator de emissão i [kgN<sub>2</sub>O/Gg], adotado 10, 170 e 50 kg/Gg de resíduo incinerado sendo considerado incinerador de grelha de fluxo semi-contínuo, para papéis, plásticos e outros resíduos, respectivamente e i - tipo de resíduo no processo.

### RESULTADOS DA TERCEIRA ETAPA

A Figura 3 apresenta a estimativa de geração de CO<sub>2</sub> - como GEE - no cenário 1 e 2. As estimativas do potencial de geração de energia, bem como da geração GEE (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O), se comportaram de forma semelhante, uma vez que o método de estimativa não possui dados de entrada específicos e a composição gravimétrica dos resíduos adotada foi invariável na projeção dos 20 anos prospectado pelo PDGRIS. Desta forma, a única variável de influência na curva foi a quantidade de resíduo a ser incinerado.



**Figura 3 - Estimativa de geração de CO<sub>2</sub>.**

A estimativa de geração de GEE para o **cenário 1** foi para 2018 de 2.172 GgCO<sub>2</sub>/ano, 6,8 tonCH<sub>4</sub>/ano e 71,9 tonN<sub>2</sub>O/ano e em 2037 de 2.675 GgCO<sub>2</sub>/ano, 8,4 tonCH<sub>4</sub>/ano e 88,6 tonN<sub>2</sub>O/ano. **Para o cenário 2** em 2018 foi 1.978 GgCO<sub>2</sub>/ano, 6,2 tonCH<sub>4</sub>/ano e 65,5 tonN<sub>2</sub>O/ano e em 2037 de 1.406 GgCO<sub>2</sub>/ano, 4,4 tonCH<sub>4</sub>/ano e 46,6 tonN<sub>2</sub>O/ano. O **cenário 1** apresentou um aumento próximo de 23% de GEE ao final da projeção em 20 anos e o **cenário 2** um decaimento na geração de GEE na ordem de 29%.

## CONCLUSÕES

Apesar das limitações que se impõem à comparação de resultados de pesquisas realizadas segundo critérios técnicos próprios e metodologias nem sempre homogêneas, é possível tirar algumas conclusões.

A partir dos resultados apresentados, por meio dos cálculos realizados para estimar o potencial de recuperação energética a partir da incineração dos resíduos domiciliares (RDO) do Distrito Federal, a primeira consideração é que, com base em uma avaliação apriorística pode se concluir que é tecnicamente viável. Em 2015 a eficiência global de valorização do RDO do DF foi de 8,50 % em relação ao total de resíduos coletados, sendo deste total 4,3% materiais recicláveis efetivamente destinados ao mercado e 4,2% composto orgânico.

Ainda que o **cenário 2** tenha, de acordo com o PDGIRS, para os próximos 20 anos, uma perspectiva de aumento gradativo da valorização do resíduo por meio reciclagem e compostagem, chegando ao final em 28% de aproveitamento, a quantidade de resíduo domiciliar útil para incineração ainda será 2.086 ton/dia, com o potencial teórico de geração de energia de 612,75 kWh/ton, sendo o potencial de geração de energia elétrica em 13,5 MW. Neste cenário, a estimativa do potencial de recuperação energética de ROD por ano foi de 118.225 MWh/ano (118,2 G). O número de residências atendidas de 52.522 ou 210.088 habitantes, se consideramos uma média de 4 habitantes por residência.

Com relação a estimativa de geração de GEE o **cenário 1** apresentou o um aumento próximo de 23% de GEE ao final da projeção em 20 anos, de 2.675 GgCO<sub>2</sub>/ano, 8,4 tonCH<sub>4</sub>/ano e 88,6 tonN<sub>2</sub>O/ano.

Deve-se observar, contudo, que a incineração praticamente exclui a alternativa da reciclagem, ou reduz bastante seus benefícios energéticos. Essas considerações ganham importância na medida em que a reciclagem tem potencial para produzir o maior benefício energético global. Com efeito, além de contribuir para a extensão



da vida útil do aterro, a reciclagem evita a geração de energia elétrica consumida na produção do material reciclável. Se separados para a reciclagem, reduzem o poder calorífico do RSU o que poderá inviabilizar tecnicamente a incineração, ou exigir a adição de elemento combustível.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2017: Ano base 2016. Rio de Janeiro: EPE, 2017.
2. EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Série recursos energéticos: avaliação preliminar do aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos de Campo Grande. Rio de Janeiro: EPE, 2008.
3. GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. *Ciencia & Saude Coletiva*. Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, pp. 1503-1510, Jun, 2012.
4. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 5 Incineration and Open Burning. 2006.
5. MENEZES, R. A. A.; GERLACH, J. L.; MENEZES, M. A. Estágio atual da incineração no Brasil. In: VII Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública. Curitiba. Anais. São Paulo: ABLP - Associação Brasileira de Limpeza Pública, 2000.
6. MORGADO, T. C.; FERREIRA, O. M. Incineração de resíduos sólidos urbanos, aproveitamento na co-geração de energia: estudo para a região metropolitana de Goiânia. Departamento de Engenharia, Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2006.
7. PAVAN, M. C. O. Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil. 186 p. Tese (Doutorado em Energia) – Programa de Pós-Graduação em Energia, EP/FEA/IEE/IF, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
8. POLETTO, J. A. F. Viabilidade energética e econômica da incineração de resíduo sólido urbano considerando a segregação para reciclagem. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.
9. SAFFER M. & DUARTE G. A. A., Estudo do Estado da Arte e Análise de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental da Implantação de uma Usina de Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos Urbanos com Geração de Energia Elétrica no Estado de Minas Gerais. 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre, 2011.
10. SANTOS, G. G. D. Análise e perspectivas de alternativas de destinação dos resíduos sólidos urbanos: o caso de incineração e da disposição em aterros. Dissertação (Mestrado em Ciências do Planejamento Energético) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
11. TCHOBANOGLOUS, G; KREITH, F. Handbook of Solid Waste Management. McGraw-Hill International Editions. DOI: 10.1036/0071356231. 864p. (2002).