



Grupo de Estudo de Geração Térmica-GGT

Potencial para gerenciamento energético municipal a partir do biogás oriundo de aterros sanitários e da queima de resíduos sólidos urbanos

**SANDI DA COSTA GEHM(1); LUCIANE NEVES CANHA(1);
UFSM(1);**

RESUMO

A estrutura da matriz energética brasileira define o Brasil como líder mundial na geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, pois é rico em alternativas de produção das mais variadas fontes, diversificando a sua matriz energética e mantendo o alto índice de energia renovável. Dessa forma, a geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos vem apresentando-se como uma alternativa possível, com vistas ao desenvolvimento sustentável. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo efetuar um estudo comparativo entre a geração de energia em aterros sanitários com aproveitamento do biogás e sua queima em usinas de incineração. Os resultados obtidos podem contribuir para ações estratégicas em municípios para geração e uso da energia elétrica a partir de fontes locais. As análises realizadas consideram como universo de pesquisa o município de Ijuí, localizado no norte do estado do Rio Grande do Sul.

PALAVRAS-CHAVE

Biogás, Incineração, Resíduos Sólidos Urbanos, Geração de Energia Elétrica

1.0 - INTRODUÇÃO

No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais [1] 59,1% dos resíduos sólidos urbanos (RSU) produzidos são encaminhados para aterros sanitários, principalmente nas grandes cidades do país. O restante é enviado a aterros controlados (22,9%) ou lixões (18%), presentes na maior parte das pequenas e médias cidades.

A região sul está entre as regiões que mais geram resíduos no país, ficando atrás apenas das regiões sudeste e nordeste [1], geraram, em 2017, a quantidade de 22.429 toneladas/dia de RSU. O Rio Grande do Sul possui uma geração de resíduos proporcional ao crescimento populacional, aumentando a demanda por destinação adequada dos RSU e também o consumo de energia elétrica nas residências, que teve um aumento de quase 3% no primeiro semestre de 2018, em comparação com o mesmo período do ano de 2017 [2], demonstrando a necessidade da contínua diversificação da matriz de energia elétrica com outras fontes de energia, a fim de garantir a segurança energética da população.

Na procura por novas fontes alternativas de geração de energia elétrica, o aproveitamento de resíduos sólidos urbanos é uma alternativa estratégica tanto sob o ponto de vista técnico quanto ambiental, visto que, além do seu potencial energético é uma solução para o destino do lixo. O alto custo financeiro e ecológico do gerenciamento desse lixo tem levado à busca de soluções para otimizar o custo da produção de energia a partir do lixo.

O Art. 9º, da Lei 12.305 de 2010, determina que somente poderão ser destinados à disposição final (aos aterros sanitários), os rejeitos, ou seja somente os resíduos que não podem ter um aproveitamento seja de que forma for. Para este fim existem vários processos de disposição final, entre eles, pode-se destacar a disposição em aterro sanitário (não confundir com lixões) ou disposição final por incineração. Ambos os processos são utilizados para disposição final de resíduos, seja urbano ou industrial. Em função disso, as duas tecnologias possuem prós e contras. Independente do processo utilizado é preciso ter em mente a necessidade de compromisso com as questões ambientais.

Diante do problema apresentado, diversas pesquisas foram realizadas visando o melhor gerenciamento dos RSU, buscando alternativas energéticas envolvendo esses resíduos a fim de colocar em prática o desenvolvimento sustentável nos municípios brasileiros. A Figura 1 apresenta um esquema dos principais processos de aproveitamento energético.

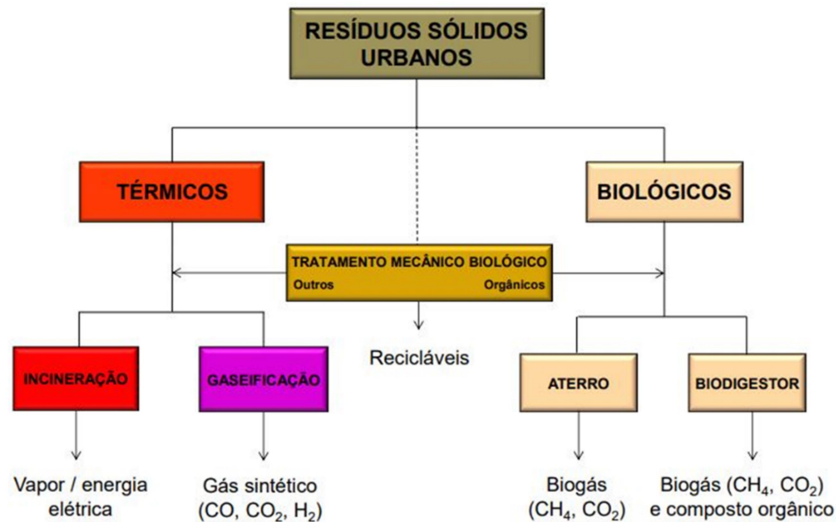


FIGURA 1 – Principais processos de aproveitamento energético (Fonte: CENBIO,2013)

Neste contexto, para a realização do estudo comparativo entre biogás e incineração primeiro é necessário obter as informações destas duas tecnologias. O impacto desta geração em termos de operação e planejamento do sistema elétrico de distribuição é fundamental. Somente no município de Ijuí haveria um incremento significativo na energia produzida o que representaria redução da necessidade de compra a partir da CCEE (Câmara de Comercialização de Energia). Em termos técnicos Ijuí conta com 04 subestações e a escolha entre as tecnologias pode significar a necessidade ou não da construção de uma nova subestação.

Deste modo, este artigo visa comparar o potencial de aplicação prática de geração de energia elétrica entre as tecnologias para obtenção da energia a partir do RSU, de forma a contribuir para reduzir os impactos provocados pelo acúmulo de lixo nas cidades a partir do aproveitamento do potencial energético desse insumo e discutir qual das tecnologias pode impactar de forma mais eficiente no planejamento e operação em todas as empresas do ramo de energia elétrica

2.0 - DESENVOLVIMENTO

2.1 Descrição geral dos processos

Para melhor entendimento sobre o tema proposto, procura-se neste item, descrever os processos de recuperação energética abordados neste artigo.

2.1.1. Biogás

O biogás é uma fonte de energia pouco valorizada encarada como um subproduto da biodigestão de resíduos orgânicos. Segundo [3], trata-se de um produto energético em si, capaz de mover e sustentar os trabalhos de nossas principais atividades de produção.

Composto pela mistura de gases, principalmente por gás metano (CH₄) e gás carbônico (CO₂). Seu potencial energético está diretamente ligado a quantidade de gás metano contido na mistura, normalmente varia de 40 a 50% dependendo da fonte geradora.

Apresenta teor calorífico de 5000 a 7000 kcal/m³ [4], podendo chegar a 12000 kcal/m³ quando livre de gás carbônico. É altamente explosivo na proporção de 6 -15% com o ar atmosférico, da mesma forma que o gás liquefeito do petróleo.

Existem diversas tecnologias para efetuar a conversão energética do biogás. Segundo [5] esta conversão é um processo de transformação das moléculas de biogás, por meio de uma combustão controlada, em energia mecânica, que posteriormente irá ser convertida em energia elétrica.

As tecnologias convencionais para a transformação energética do biogás são as turbinas a gás e os motores de combustão interna. A utilização de microturbinas ainda apresenta custos elevados e o seu tempo de vida útil operando com biogás ainda é baixo [6].

Conforme [7], esta forma de aproveitamento energético ainda é pouco utilizada no Brasil levando-se em consideração que a maioria da população brasileira está concentrada nos centros urbanos. Assim, o aproveitamento do biogás poderia ser muito maior. Eles esclarecem que isso não acontece devido ao fato de que a maior fonte de energia utilizada no país ainda é hidrelétrica, representando 65,2% em 2014. O estudo demonstra que a geração de biogás é uma fonte alternativa de aproveitamento energético para o Brasil, mas que ainda apresenta algumas questões a serem esclarecidas nos quesitos técnicos, regulatórios, operacionais e institucionais para viabilizar o uso dessa tecnologia no país.

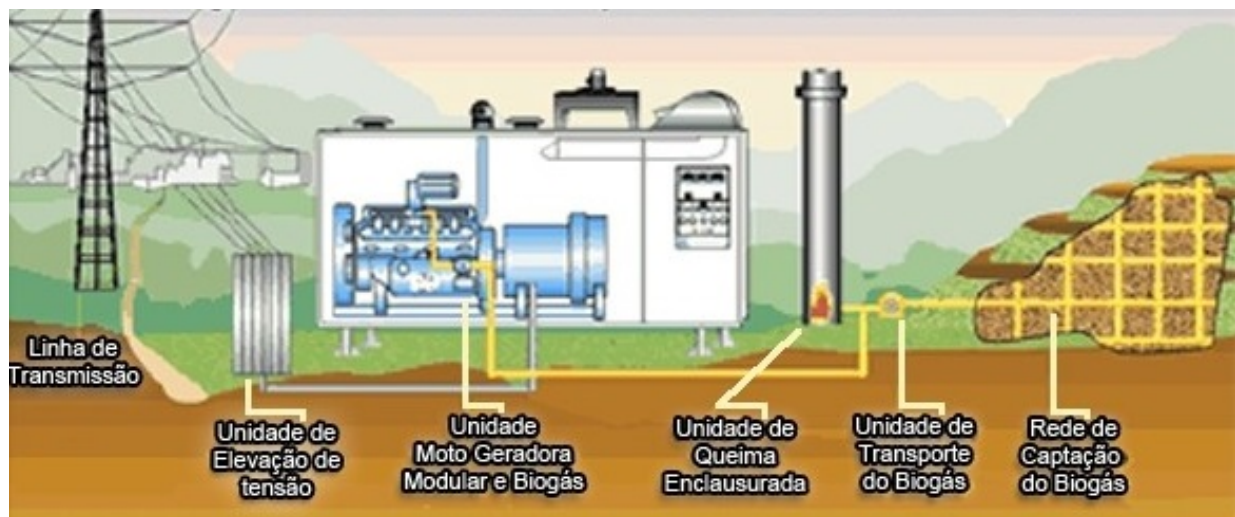


FIGURA 2 – Conversão energética do biogás com motores de combustão interna (Fonte: BRASMETANO, 2007)

2.1.2 Incineração

Segundo [7], a incineração é um método de processamento de resíduos que vem sendo utilizada pela humanidade desde o início do século. Durante as últimas décadas, tem sido amplamente utilizada e com isso tecnologias cada vez mais modernas vêm sendo desenvolvidas com o intuito de melhorar o rendimento do processo, em termos de eficiência de queima e geração de energia, e reduzir as emissões de poeira e gases na atmosfera.

De acordo com [8], a incineração é um processo para tratamento térmico de resíduos que envolve a combustão em alta temperatura das substâncias orgânicas que compõem os resíduos, levando à redução de volume e de massa, entre 85% e 90% do volume original. Adicionalmente, reduz possíveis características perigosas dos resíduos, podendo ainda ser considerado um processo de reciclagem energética já que a energia contida nos resíduos é liberada na queima e pode ser reaproveitada para outros processos.

Usinas que geram energia a partir de RSU são usadas na maioria por países desenvolvidos, tendo como finalidade principal propiciar o aproveitamento energético, embora esses países tenham atingido elevadas taxas de reciclagem, ainda resta grande volume de RSU, sendo que estas usinas já se tornaram tradição e mesmo uma obrigação legal para certos tipos de resíduos, como estabelece a Diretiva Européia 2008/98/CE.

No Brasil, o processo de incineração vem sendo aplicado há tempos, sendo que o primeiro incinerador municipal foi instalado em 1896 em Manaus processar 60t por dia de lixo doméstico, tendo sido desativado somente em 1958 por problemas de manutenção. Também há registros de um equipamento similar instalado em Belém e desativado em 1978 pelos mesmos motivos [9].

Atualmente, as técnicas de incineração mais utilizadas são o Mass Burning e o Refuse derived Fuel. Na modalidade Mass Burning, os resíduos são incinerados de forma bruta, sem qualquer pré-tratamento, excetuando a remoção de partes de grandes dimensões. Por outro lado, na modalidade Refuse-derived Fuel, os resíduos são previamente processados, de forma a remover materiais recicláveis e minimizar a heterogeneidade da massa a ser efetivamente incinerada. Por não requerer a etapa prévia de processamento, a técnica Mass Burning é a mais frequentemente utilizada.

Na Europa e na Ásia encontram-se as melhores referências no método Mass Burning, bem como o que há de mais avançado em termos de legislação ambiental no sentido de sempre buscar melhorar o processo, visando a segurança para o meio ambiente e a maturidade tecnológica necessária. A ABRELPE e a Plastivida citam diversas vantagens do método, dentre os quais se destacam:

- Aumento da vida útil dos aterros em consequência da redução dos rejeitos oriundos do processo, diminuindo em 90% seu volume e 75% em peso;
- Otimização da logística de transporte, por poderem ser instalados em locais não muito distantes dos centros urbanos;
- Ser uma solução de saneamento básico, uma vez que evita efeitos indesejáveis da disposição inadequada de resíduos em aterros e lixões, como contaminação do solo, geração de gás metano e transmissão de doenças;
- Diminuição de gases de efeito estufa.

Ainda, cabe reforçar que esta é uma solução de saneamento básico, e que a geração de energia é um subproduto, o que difere as Usinas de Recuperação Energética de RSU das Usinas Hidrelétricas e Termoelétricas.

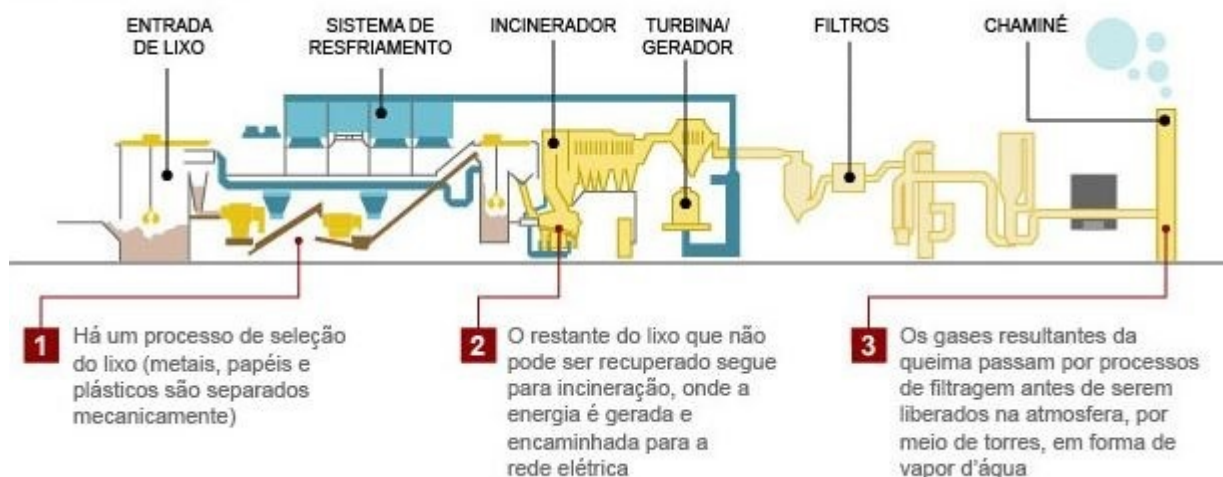


FIGURA 3 – Processo de incineração de resíduos (Fonte: G1.com, 2018)

2.2 Metodologia

2.2.1. Geração de Energia Elétrica a partir do biogás

A metodologia utilizada neste trabalho é a recomendada pela [11], pois está apresentada a metodologia de cálculo para sistemas de disposição sem controle.

Para o tipo de disposição sem controle é apresentada a Eq. (1) com a qual podem ser calculadas as emissões de metano. Esta metodologia tem como base a estimativa direta das emissões de metano a partir do modelo Land-Gem.

$$Q_{CH_4} = L_0 \times R \times (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (1)$$

Onde:

Q_{CH_4} = Metano gerado no ano t (m^3 /ano);

L_0 = Potencial de geração de metano por tonelada de resíduo depositado ($m^3CH_4/t_{resíduo}$);
 R = Média anual de entrada de lixo no vazadouro (t/ano);
 k = Taxa de geração de metano (ano⁻¹);
 c = Anos desde o fechamento, $c=0$ para ativos (ano);
 t = Anos desde o início das atividades (ano).

Para o cálculo da potência disponível foi utilizada a seguinte equação:

$$P_x = \frac{Q_x \times PCI \times \eta}{860000} \quad (2)$$

Em que:

P_x = Potência disponível a cada ano (MW);
 Q_x = Vazão de metano a cada ano (m^3CH_4/h);
 PCI = Poder calorífico de metano;
 η = Eficiência do motor = 0,28;

Para calcular a energia disponível, fez-se o uso da Eq. (3).

$$E = P_x \times Rend \times Tempo \text{ de operação} \quad (3)$$

Em que:

P_x = Potência disponível (MW);
 E = Energia disponível (MWh/dia);
 $Rend$ = Rendimento do motor operando em plena carga = 87%
 $Tempo \text{ de operação}$ = 24h/dia.

Desta forma, em função da vazão do metano, foi possível calcular a potência (MW) e a energia (MWh/dia) disponíveis se fosse implantado um aterro na cidade, para isso, considerou-se o PCI como 8500 Kcal/m^3 .

2.2.2 Geração de Energia Elétrica a partir de usina de incineração

Para a determinação das quantidades de resíduos a serem incineradas diariamente foi considerada apenas a quantidade de RSU que é transportada até o local de disposição final dos RSU da cidade. Também foram utilizados os valores de Poder Calorífico Inferior (PCI) das frações de materiais comumente encontradas nos RSU, tal como apresentado em publicação da Empresa de Pesquisa Energética [2].

Já para a geração de energia elétrica, considerou-se que há perdas entre 60% e 80% 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 eletromecânica de 35% geralmente encontrada para plantas de até 20 MW (tipo de combustor não especificado), onde o processo de cogeração para geração de energia elétrica simultaneamente à geração de calor é desconsiderado [12].

Dessa forma, para a determinação da energia total teórica em kWh/dia, que pode ser obtida a partir dos RSU gerados, utilizou-se a Equação 4, adaptada de [13].

$$E_T = PCI_T \times K \times \eta_e \times m_{RSU} \quad (4)$$

Onde:

PCI_T = Somatório do conteúdo energético dos RSU em base úmida em kcal/kg;
 K = Fator de conversão de kcal para kWh ($K=0,001163$);
 η_e = Eficiência eletromecânica da planta incineradora;
 m_{RSU} = Quantidade de RSU a ser incinerado diariamente em kg.

Já para a determinação da potência total teórica em MW utilizou-se a Eq (5), onde t é o tempo em horas de utilização diária da planta incineradora, o qual foi estabelecido em 24 horas.

$$P_T = \frac{E_T}{t} \quad (5)$$

2.3 Resultados e Discussões

A área de estudo compreende o município de Ijuí que está localizado na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Atualmente é um dos municípios mais populosos da região, ultrapassando os 83 mil habitantes, com uma área de 689,1 km², Ijuí apresenta uma densidade demográfica bruta de 115,5 hab/km².

É importante ter-se em conta a composição dos resíduos quando se avalia um projeto de recuperação de biogás e/ou incineração. Por exemplo, um aterro com elevado conteúdo de lixos alimentares, altamente degradáveis, tenderão a produzir biogás mais cedo, mas durante um período de tempo mais curto. Já para a incineração, quanto menos úmido for o resíduo mais poder calorífico terá, conseqüentemente gerará mais energia. A Tabela I apresenta um resumo dos dados sobre a composição dos RSU da área de estudo.

Tabela 1 – Composição dos RSU de Ijuí

Materia	Massa (Kg)	Fração (%)
Matéria Orgânica	702,61	64,46
Papel/Papelão	123,82	11,36
Plástico	176,14	16,16
Metais	13,41	1,23
Vidros	16,02	1,47
Outros	57,99	5,32
Total	1.090,00	100

A composição dos RSU do município foi determinada no campo a partir da caracterização de uma amostra representativa de RSU [14]. Estes percentuais foram calculados baseados na massa de resíduos obtidas de uma amostra de 1.090 quilos, e não consideram os resíduos secos encaminhados para uma central de triagem existente no município.

Para análise do potencial energético do biogás gerado, calculou-se a vazão de metano (m³/ano) a partir de 2016 até a previsão para 2040 utilizando-se a equação (1) a partir do Plano Municipal de Saneamento Básico Participativo do Município por considerar os dados mais atuais do DEMASI (Departamento Municipal de Água e Saneamento de Ijuí) sobre a demanda de resíduos da cidade. A Tabela 2 apresenta a potência e a energia disponível no aterro em função da vazão de metano (m³/ano).

Tabela 2 – Potência e Energia disponível em função da vazão de metano (CH₄)

Ano	m ³ CH ₄ /ano	Potência (MW)	Energia (MWh/d)
2016	5.721,17	0,659	13,775
2017	11.271,78	1,299	27,138
2018	16.657,51	1,921	40,106
2019	26.956,02	2,523	52,689
2020	31.879,22	3,675	76,754
2021	36.658,39	4,227	88,261
2022	41.298,32	4,762	99,433
2023	45.803,67	5,282	110,280
2024	50.178,94	5,786	120,814
2025	54.428,46	6,276	131,046
2026	58.556,46	6,752	140,984
2027	62.567,00	7,214	150,641
2028	66.464,02	7,664	160,023
2029	70.251,34	8,100	169,142
2030	73.932,64	8,525	178,005
2031	77.511,49	8,938	186,622
2032	80.991,35	9,339	195,001
2033	84.375,54	9,729	203,148
2034	87.667,29	10,108	211,074
2035	90.869,72	10,478	218,784
2036	93.018,63	10,837	226,287
2037	97.018,63	11,187	233,589
2038	99.970,84	11,527	240,697
2039	102.845,22	11,859	247,617
2040	105.644,43	12,182	254,357

Conforme pode-se observar na Tabela 2 o crescimento da produção de biogás é exponencial. Isso se deve a alguns fatores incluindo o crescimento populacional, a expectativa de crescimento econômico e ainda uma coleta mais eficiente de resíduos.

Já a Tabela 3 apresenta a potência e a energia disponível em função da incineração dos resíduos sólidos a partir das equações (4) e (5).

Tabela 3 – Potência e Energia disponível em relação á incineração

Ano	Potência (MW)	Energia (MWh/d)
2016	10,547	253,143
2017	10,597	254,351
2018	10,648	255,559
2019	10,698	256,767
2020	10,748	257,974
2021	10,799	259,183
2022	10,849	260,391
2023	10,899	261,598
2024	10,950	262,806
2025	11,000	264,014
2026	11,050	265,222
2027	11,101	266,431
2028	11,151	267,638
2029	11,202	268,846
2030	11,252	270,054
2031	11,302	271,262
2032	11,353	272,470
2033	11,403	272,678
2034	11,453	273,678
2035	11,503	274,886
2036	11,554	276,094
2037	11,604	277,302
2038	11,654	278,510
2039	11,705	279,717
2040	11,755	282,134

Como se pode notar, a energia gerada pode contribuir parcialmente com a redução da necessidade de compra de energia de empresas externas, mas principalmente da um destino mais adequado aos resíduos produzidos no município.

3.0 - CONCLUSÃO

Para o desenvolvimento sustentável é necessário investigar novas tecnologias em fontes renováveis de geração de energia elétrica, possibilitando cada vez mais a incorporação de fontes descentralizadas e principalmente de pequena escala.

O objetivo deste trabalho busca propor uma comparação entre a geração de energia elétrica proveniente de biogás e incineração, estudando a capacidade de aproveitamento do lixo urbano em um município com 83 mil habitantes.

Conforme os resultados obtidos, percebe-se que, por meio da gestão eficiente dos resíduos sólidos urbanos, é possível aproveitar o potencial energético e por consequência contribuir com uma proposta de alternativa sustentável, para produção de energia elétrica. Este tipo de recurso energético possui grande potencial não apenas para a produção da energia elétrica, mas também como armazenamento, contribuindo para o aumento da reserva girante do município.

Como pode ser notar no decorrer dos anos as duas tecnologias de recuperação se equiparam, porém a tecnologia de incineração dos resíduos começa gerando energia substancial já no primeiro ano mostrando-se, assim, a

melhor opção.

Como conclusão geral deste estudo, observou-se a identificação da existência de opções e oportunidades para a implementação de projetos relacionados à geração de energia elétrica no Brasil oriundo dos Resíduos Sólidos Urbanos. Todavia, as tecnologias apresentadas merecem ser cada vez mais investigadas, viabilizadas e aplicadas, pois oferecem disposição, tratamento e aproveitamento energético de RSU mais eficiente e sustentáveis, a exemplo dos países mais desenvolvidos do mundo.

Ainda são necessários estudos de viabilidade econômica, entretanto é importante que análises deste porte sejam realizadas de forma a oferecer ao sistema elétrico alternativas para reduzir os impactos causados por fontes de geração intermitentes.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Abrelpe. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, pp. 19. 2017
- (2) EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Plano nacional de energia 2030. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2007.
- (3) BLEY JÚNIOR, Cícero. Biogás: A Energia Invisível, 2ª edição.
- (4) EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica.
- (5) PECORA, V., Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP. São Paulo, 2006.
- (6) CASTRO, R. Energias renováveis e produção descentralizada. DEEC, Área Científica de Energia, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 2006.
- (7) SHINOTSUKA, L. Y., NAKAGAWA, M. I. Avaliação do Ciclo de Vida da Incineração de um Resíduo Sólido Urbano, 2014.
- (8) SANTOS, G. G. D. Análise e perspectivas de alternativas de destinação dos resíduos sólidos urbanos: o caso de incineração e da disposição em aterros. 193 p. 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.
- (9) MENEZES, R. A. A., GERLACH, J. L., e MENEZES, M. A. Estágio atual da incineração no Brasil. ABLP – Associação Brasileira de Limpeza Pública VII Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública. Curitiba, 2000.
- (10) ABRELPE; PLASTIVIDA. Caderno informativo: recuperação energética – resíduos sólidos urbanos. São Paulo, 2012
- (11) UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA), Municipal Solid Waste Landfills, USA, Novembro 1998.
- (12) BARJA, G. J. A Cogeração e sua inserção ao sistema elétrico. 157 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Mecânicas, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- (13) POLETO, 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.
- (14) Plano Municipal de Saneamento Básico Participativo do Município de Ijuí. Volume 1, 2011.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Sandi da Costa Gehm, nascida em Ijuí, Rio Grande do Sul, em 04/10/1991

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2016. Atualmente é aluna do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) através do Curso de Mestrado, com área de concentração em Processamento de Energia e linha de pesquisa voltada a Sistemas de Energia.



Luciane Neves Canha, nascida em Santa Maria Rio Grande do Sul, em 16/03/1971

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). É professora Associada do curso de Engenharia Elétrica da UFSM, onde atua desde 1997. É pesquisadora PQ 1D do CNPq e Sênior Member do IEEE. Suas áreas de pesquisa são fontes renováveis de energia, geração distribuída, armazenamento de energia, smart grids.