



# 1º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

GRAMADO-RS

12 a 14 de junho de 2018

## POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA ELÉTRICA EM ATERROS SANITÁRIOS DO SUL DO BRASIL

**Luciano Vidal (\*), Jeane Estela Ayres de Lima, Juliana Katz Recondo Meirelles, Marianne Weber da Silva, Ricardo Burgo Braga**

\* Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - lucvidal2@terra.com.br

### RESUMO

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) sofrem degradação anaeróbia da sua fração orgânica formando o biogás, que é uma mistura de metano, dióxido de carbono e outros componentes. Devido ao seu alto poder calorífico, o biogás pode ser aproveitado na geração de energias elétrica e térmica, como combustível de caldeiras a vapor e veicular. O Estado do Rio Grande do Sul (RS), localizado no sul do Brasil, envia seus RSU para 32 aterros sanitários. Os que teriam viabilidade econômica para construir uma usina de geração de energia através do aproveitamento do biogás estão localizados nos municípios de Candiota, Caxias do Sul, Giruá, Minas do Leão, Santa Maria, São Leopoldo e Palmeira das Missões. Dentre eles, apenas o aterro sanitário de Minas do Leão possui uma usina que utiliza o biogás gerado pelo mesmo para produção de energia limpa. Segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a população do RS tem um crescimento médio aproximado de 100.000 habitantes por ano, o que acarretaria em um aumento na geração de RSU. O potencial estimado de produção de biogás nos aterros sanitários do RS corresponde a 466.200 m<sup>3</sup>/dia. Se houvesse um aproveitamento do biogás gerado nos maiores aterros sanitários no RS, poderia ser produzida energia elétrica suficiente para atender cerca de 134.000 moradias. Além da perspectiva de produção de energia sustentável, diminui-se a emissão de gases de efeito estufa, como o metano e o dióxido de carbono, e também a de obter-se créditos de carbono, que estão previstos no Protocolo de Quioto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos sólidos urbanos, aterro sanitário, biogás.

### ABSTRACT

Municipal solid waste (MSW) undergoes anaerobic digestion of its organic fraction and forms biogas, which is a mixture of methane, carbon dioxide and other components. Due to its high calorific value, biogas can be used in the generation of electric and thermal energy, as fuel for steam boilers or as vehicular fuel. The State of Rio Grande do Sul (RS), located in the south of Brazil, sends its municipal solid waste to 32 sanitary landfills. Those with the economic viability to build plants to generate power using biogas are in the municipalities of Candiota, Caxias do Sul, Giruá, Minas do Leão, Santa Maria, São Leopoldo, and Palmeira das Missões. Among them, only the sanitary landfill in Minas do Leão has a plant that uses biogas generated locally to produce clean energy. According to estimates of the Brazilian Institute of Geography and Statistics, the population of Rio Grande do Sul is growing by a rate of approximately 100,000 inhabitants per year, which would result in an increase in the generation of MSW. The estimated potential of biogas production in the sanitary landfills of the RS corresponds to 466,200 m<sup>3</sup>/day. If the biogas generated in the largest sanitary landfills in RS was used, enough electricity could be produced to light about 134,000 homes. In addition to the production of sustainable energy, it also reduces the emission of greenhouse gases such as methane and carbon dioxide, and even helps to obtain carbon credits, as set out in the Kyoto Protocol.

**KEY WORDS:** Municipal solid waste, sanitary landfill, biogas.

### INTRODUÇÃO

A maior parte da geração de energia elétrica, tanto no Estado do Rio Grande do Sul (RS) quanto no Brasil, é proveniente de hidrelétricas (CAPELETTO; MOURA, 2015). No início dos anos 2000, o país enfrentou um racionamento de energia elétrica em algumas de suas regiões, devido à falta de chuva, planejamento e investimentos (BARDELIN, 2004). Há cerca de quatro anos, mais um longo período de estiagem obrigou o governo brasileiro a acionar usinas termelétricas, que produzem energia mais suja e cara (G1, 2014). O aproveitamento de biogás gerado em aterros sanitários é uma alternativa viável para diversificar a matriz energética do RS, dando ganhos econômicos através da venda de energia elétrica e/ou térmica, e da obtenção de créditos de carbono. Além disso, há um grande benefício ambiental com a diminuição da emissão de gases de efeito estufa (GEE).

A destinação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) tem sido um grande desafio para o Brasil. Segundo Leme *et al.* (2014), 60% das cidades brasileiras ainda enviavam resíduos sólidos para aterros irregulares. Pela lei nº 12.305/2010, que institui

a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os lixões passaram a ser proibidos a partir de 2014. Isto passou a incentivar o processo de reciclagem e de outros sistemas de tratamento, pois somente quando não houver a viabilidade técnica, ambiental e econômica, é que os rejeitos poderão ser dispostos em aterros sanitários (EPE, 2014). No Estado do Rio Grande do Sul, localizado no extremo sul do Brasil, estima-se que foram enviados cerca de 2.323.580 toneladas no ano de 2014 deste tipo de resíduo para 32 aterros sanitários licenciados pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM), conforme Konrad *et al.* (2016). De acordo com esta mesma fonte, o aterro sanitário com maior capacidade de recebimento de RSU está localizado no município de Minas do Leão, que recebe em torno de 1.270.000 toneladas/ano. Os demais aterros que se destacam são os localizados nas cidades de São Leopoldo (365.000 toneladas/ano), Caxias do Sul, Giruá, Santa Maria (109.000 toneladas/ano cada) e Palmeira das Missões, com 73.000 toneladas/ano. Também podemos citar o aterro sanitário do município de Candiota, cuja nova licença de operação foi emitida em agosto de 2016 e possui capacidade de recebimento de RSU em torno de 365.000 toneladas/ano (FEPAM, 2016).

Um dos malefícios causados pela deposição de resíduos sólidos em aterros é a geração de metano, um dos gases associados ao efeito estufa, e que tem potencial de aquecimento global maior do que o dióxido de carbono (LOBATO *et al.*, 2013). Segundo o IPCC (1996), citado por Necker; Rosa (2013), os aterros são responsáveis por cerca de 5 a 20% do metano que é liberado por fontes que têm em sua origem a atividade humana, dita antropogênica.

## OBJETIVO

O objetivo deste artigo é discutir e demonstrar que, uma das alternativas para mitigar o problema dos RSU e do aquecimento global é o aproveitamento do biogás, gerado a partir da digestão anaeróbia da fração orgânica dos RSU, podendo incentivar um aumento do número de projetos de uso desta fonte de energia renovável (como a produção de energia elétrica), no RS e no Brasil.

## METODOLOGIA

A metodologia empregada no presente estudo foi uma pesquisa bibliográfica, através de artigos científicos, documentos, livros, reportagens, sites governamentais e empresariais, para realizar a análise e interpretação dos dados.

Utilizou-se a base de dados *Web of Science*, refinando-se a pesquisa para buscar artigos científicos mais recentes. Foram pesquisados artigos que tivessem dados sobre o cenário brasileiro e do Estado do Rio Grande do Sul. As palavras-chave utilizadas para a realização desta pesquisa foram: biogás; digestão anaeróbia; aproveitamento/ uso de biogás; aterro sanitário; resíduos sólidos urbanos.

Para poder calcular o potencial estimado de geração de biogás nos aterros sanitários do RS, neste artigo foi empregada uma metodologia criada pela Associação de Tecnologia e Estruturas na Agricultura - *Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e V.* (KTBL), da Alemanha. Ela leva em consideração os sólidos totais, os sólidos voláteis e o rendimento de biogás por tonelada de sólidos voláteis. É o mesmo método apresentado por Konrad *et al.* (2016) no Atlas das Biomassas do Rio Grande do Sul para Produção de Biogás e Biometano.

## RESULTADOS

O biogás foi descoberto em 1667 por Shirley, que observou que os pântanos geravam um gás. Entretanto, não sabia como se formava nem de que gás se tratava. Em 1776, o físico italiano Alessandro Volta descobriu a presença do metano no gás dos pântanos. Em 1883, Ulisses Gayon, aluno de Louis Pasteur, realizou a primeira fermentação anaeróbia, produzindo 100 litros de gás por metro cúbico de uma mistura de esterco e água. Sete anos depois, Donald Cameron projetou uma fossa séptica para a cidade de Exeter, Inglaterra, onde o gás produzido era usado para iluminação pública (SOARES; SILVA, 2010). O biogás pode ser aproveitado de diversas maneiras: para produção de energia elétrica e térmica, como combustível veicular, como combustível para queima em caldeira a vapor, entre outros.

O biogás é composto, basicamente, de 50 - 75% de CH<sub>4</sub>, 25 - 50% de CO<sub>2</sub> e traços de vapor d'água (H<sub>2</sub>O), sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) e amônia (NH<sub>3</sub>). O processo de degradação da matéria orgânica ocorre em 4 etapas, através de microrganismos: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (CHERNICHARO, 1997). Na primeira etapa, chamada de hidrólise, compostos orgânicos complexos como proteínas, polissacarídeos e lipídios são convertidos em monômeros ou oligômeros solúveis, como ácidos graxos de cadeias longas, aminoácidos, açúcares e glicerol. Os compostos solúveis simples são fermentados por bactérias acidogênicas em uma mistura de dióxido de carbono,

hidrogênio, álcool e ácidos graxos voláteis de baixo peso molecular (ácido propiônico e ácido butírico). Esta etapa é conhecida como acidogênese. Durante a acetogênese, álcoois e ácidos graxos voláteis são oxidados por bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio a acetatos, H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>.

Em uma etapa final, bactérias metanogênicas hidrogenotróficas e acetotróficas transformam o acetato, o H<sub>2</sub> e o CO<sub>2</sub> em uma mistura de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. As metanogênicas acetotróficas utilizam o acetato como substrato, em um processo conhecido como metanogênese acetotrófica. As metanogênicas hidrogenotróficas reduzem CO<sub>2</sub> utilizando H<sub>2</sub> como um agente redutor em um processo chamado de metanogênese hidrogenotrófica. Do total de CH<sub>4</sub> produzido, aproximadamente 70% é originado através da descarboxilação do acetato, enquanto que o CH<sub>4</sub> restante é, na maioria das vezes, produzido por redução de CO<sub>2</sub> (SURENDRA *et al.*, 2014). E é exatamente o metano que tem o poder de produzir energia. Segundo Szymanski *et al.*, (2010), o poder calorífico do biogás se situa entre 5.000 e 7.000 kcal/m<sup>3</sup>, podendo chegar a 12.000 kcal/m<sup>3</sup> se o dióxido de carbono for removido da mistura. Além disso, 1 m<sup>3</sup> de biogás nas condições normais de temperatura e pressão, contendo 60% de metano, produz cerca de 5,97 kWh de eletricidade equivalente comparado aos 9,94 kWh produzidos por metano puro nas condições normais de temperatura e pressão.

Como já foi dito anteriormente, há várias formas de aproveitar a energia do biogás. Entre elas, podemos destacar a produção de energia elétrica e térmica, o uso como combustível veicular e na queima em caldeiras a vapor. No caso de uso em combustível veicular, o biogás deve ser purificado a biometano (SURENDRA *et al.*, 2014), que nada mais é do que o biogás contendo 95 - 97% de CH<sub>4</sub> e 1 - 3% de CO<sub>2</sub> (RYCKEBOSCH *et al.*, 2011), e então ser aproveitado como tal. Além disso, podem ser obtidos créditos de carbono, conforme está previsto no Protocolo de Quioto (MMA, 2016).

O biometano é basicamente utilizado como uma alternativa para o gás natural (RYCKEBOSCH *et al.*, 2011). No RS, uma usina de compostagem localizada no município de Montenegro foi a pioneira no Brasil a produzir e utilizar o biometano como combustível veicular. Desde 2013, a frota própria da usina é abastecida com esta fonte de energia 100% renovável (ECOCITRUS, 2016). E uma das principais montadoras do país já está produzindo ônibus que possam ser abastecidos com biometano, o que pode incentivar a ampliação da produção do gás.

Em maio de 2016, o RS publicou a lei nº 14.864/2016, que institui a Política Estadual do Biometano e o Programa Gaúcho de Incentivo à Geração e Utilização de Biometano. Conforme o seu artigo 3º, os principais objetivos são: reduzir a produção dos gases de efeito estufa no Estado, promover a disposição final adequada de resíduos orgânicos (bem como obter a valorização econômica dos mesmos), atrair investimentos e diversificar a matriz energética estadual. Também objetiva a inserção do biometano ao gás natural. Além disso, há a garantia de compra desta energia renovável pela concessionária estadual, e a abertura de linhas de crédito especial com subsídios. O RS não é autossuficiente em gás natural, o qual o Estado recebe através de gasodutos. Atualmente, esta fonte de energia é importada de países vizinhos, como a Bolívia.

Outra grande vantagem obtida com o aproveitamento de biogás em aterros sanitários é a redução das emissões de GEE para a atmosfera. Em especial, o CH<sub>4</sub>, que tem um potencial de aquecimento global 21 vezes maior que o CO<sub>2</sub> (LOBATO *et al.*, 2013). No sistema utilizado no aterro sanitário de Minas do Leão, segundo Solvi (2016a), o processo de queima do biogás para geração de calor e energia elétrica reduz a emissão de CO<sub>2</sub> em aproximadamente 170.000 toneladas por ano.

Conforme previsto no Protocolo de Quioto (MMA, 2016), o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) permite a certificação de projetos de redução de emissões nos países contidos no Anexo I (UNFCCC, 2008) deste protocolo e a posterior venda desta redução em forma de créditos de carbono aos países desenvolvidos que excederem suas metas de emissão. Segundo Surendra *et al.* (2014), os créditos são vendidos pelo mercado de crédito internacional de carbono a uma taxa de US\$ 5-8 por tonelada métrica de CO<sub>2</sub> equivalente.

Segundo Capeletto e Moura (2015), a participação de energias renováveis na matriz energética brasileira é muito superior quando comparada ao RS, onde predominam fortemente as energias não-renováveis. A Tabela 1 mostra a comparação da oferta interna de energia (OIE) entre os dois.

**Tabela 1. Oferta interna de energia (%) entre 2010 e 2014.**

Fonte: Capeletto e Moura, 2015.

Fonte de Energia	Brasil					Rio Grande do Sul				
	2010	2011	2012	2013	2014	2010	2011	2012	2013	2014
Petróleo	42,10	42,50	41,70	40,60	42,80	52,90	63,67	60,65	59,00	62,31
Gás Natural	9,00	9,30	10,00	10,80	11,60	3,16	2,60	2,82	2,81	2,72
Carvão Vapor	0,80	0,80	1,00	1,30	1,10	10,56	8,37	10,54	12,04	10,96
Urânio U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	0,70	1,60	1,50	0,90	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Energia Não-Renovável</b>	<b>53,00</b>	<b>54,80</b>	<b>54,70</b>	<b>54,20</b>	<b>56,50</b>	<b>66,63</b>	<b>74,64</b>	<b>74,02</b>	<b>73,85</b>	<b>75,99</b>
Energia Hidráulica	13,70	14,40	13,90	13,00	11,80	14,46	11,43	11,38	10,81	9,93
Lenha	10,30	10,10	10,00	9,50	9,10	10,91	7,97	8,61	8,68	7,39
Produtos da cana de açúcar	19,30	16,90	17,60	19,10	18,10	0,75	-0,40	-0,41	-0,35	-0,35
Outros Renováveis	3,70	3,80	3,80	4,10	4,60	7,24	6,36	6,39	7,00	7,02
<b>Energia Renovável</b>	<b>47,00</b>	<b>45,20</b>	<b>45,30</b>	<b>45,80</b>	<b>43,50</b>	<b>33,36</b>	<b>25,36</b>	<b>25,98</b>	<b>26,15</b>	<b>24,01</b>

Observa-se que a participação das energias renováveis na matriz energética no RS é 55% menor se comparada à do Brasil (24,01% contra 43,5%). O biogás, junto com o biodiesel, se enquadra na fonte de energia “outros renováveis”. Comparando-se esta fonte com as demais energias renováveis, nota-se que ela só é maior do que “produtos da cana-de-açúcar” no Estado gaúcho. E no Brasil, é a que tem menor participação entre todas as energias renováveis.

Conforme definido na NBR 10.004/2004, “resíduos sólidos são aqueles encontrados nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição...”. De acordo com EPE (2014), os resíduos sólidos podem ser classificados, segundo sua origem, como urbanos quando provenientes de residências, atividades comerciais, varrição de ruas, podas de árvores ou similares.

A população do RS, segundo o Censo de 2010, era de 10.693.929 habitantes, e a estimativa para o ano de 2017 é de 11.322.895 habitantes (IBGE, 2010). Seriam quase 630.000 habitantes a mais num período de 7 anos, o que corresponde a um aumento médio aproximado de 90.000 habitantes por ano.

Conforme já mencionado anteriormente, a estimativa de geração de biomassa em aterros sanitários licenciados no RS foi de 2.323.580 toneladas em 2014. De acordo com Konrad *et al.* (2016), considerando-se os RSU, as estações de tratamento de efluentes, os dejetos de animais e etc., o potencial estimado de produção total de biogás é de 9.000.000 m<sup>3</sup>/dia. Já o potencial estimado de produção de biogás proveniente dos aterros sanitários licenciados corresponde a 5,18% deste valor, ou seja, 466.200 m<sup>3</sup>/dia.

Segundo Lacerda *et al.* (2008), para o aproveitamento energético do biogás ser economicamente viável, o aterro sanitário deverá receber no mínimo 200 toneladas/dia de RSU, além de ter uma capacidade mínima de recebimento de 500.000 toneladas ao longo de sua vida útil. Considerando-se esta afirmação, os aterros sanitários licenciados do Rio Grande do Sul que se enquadram neste cenário são os dos municípios de Candiota (600 toneladas/dia), Caxias do Sul (300 toneladas/dia), Giruá (300 toneladas/dia), Minas do Leão (3.480 toneladas/dia), Santa Maria (300 toneladas/dia), São Leopoldo (1.000 toneladas/dia) e Palmeira das Missões (200 toneladas/dia). Para calcular o potencial estimado de geração de biogás destes aterros, foi empregada a metodologia da Associação de Tecnologia e Estruturas na Agricultura (KTBL). Ela leva em consideração os sólidos totais (Equação 1), os sólidos voláteis (Equação 2) e o rendimento de biogás por tonelada de SV (Equação 3).

$$ST \text{ (ton/ano)} = \frac{\text{Biomassa (ton/ano)} * ST \text{ (\%)}}{100} \quad \text{Equação (1)}$$

$$SV \text{ (ton/ano)} = \frac{ST \text{ (ton/ano)} * SV \text{ (\%)}}{100} \quad \text{Equação (2)}$$

A Tabela 2 mostra os valores de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) das biomassas avaliadas nesta referência.

**Tabela 2. Valores de ST e SV das biomassas avaliadas.**

Fonte: Konrad *et al.*, 2016.

Biomassa Residual		ST (%)	SV (%)
Dejetos	Aves	18	63
	Bovino	11	56
	Equino	13	83
	Ovino	33	76
	Suíno	3,5	66
Laticínio	Leite Vencido	11	92
	Lodo de ETE	4,5	85
Frigorífico de bovino	Lodo de ETE	12	82
	Rúmen	10	86
	Sangue	12	94
	Vísceras	65	98
Frigorífico de aves	Lodo de ETE	7	97
	Sangue	12	94
	Vísceras	40	96
Frigorífico de suínos	Lodo de ETE	5	88
	Sangue	12	94
	Vísceras	28	95
Vinícolas	Lodo de ETE	1,4	55
	Resíduo vegetal	19	79
Aterro sanitário	Resíduo sólido urbano	30	45
ETE (esgoto doméstico)	Lodo de ETE	4	64

$$\text{Biogás (m}^3\text{/dia)} = \frac{\text{SV (ton/ano)} * \text{Rendimento de biogás (m}^3\text{/tonSV)}}{365} \quad \text{Equação (3)}$$

Para cada uma das biomassas avaliadas, o rendimento de biogás considerado foi de 550 m<sup>3</sup>/tonSV (KONRAD *et al.*, 2016).

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos do potencial de produção estimado de biogás para os aterros sanitários em questão, aplicando-se a Equação 3. Convém salientar que, segundo a Tabela 3, o potencial de produção total estimado de biogás dos 7 aterros sanitários é de 458.865 m<sup>3</sup>/dia. Entretanto, apenas o aterro sanitário do município de Minas do Leão possui uma planta destinada ao aproveitamento do biogás gerado pelos resíduos.

**Tabela 3. Potencial de produção estimado de biogás dos 7 aterros.**  
Fonte: Autores do Trabalho.

Aterro Sanitário	Biomassa (ton/dia)	ST (ton/ano)	SV (ton/ano)	Produção de Biogás (m <sup>3</sup> /dia)
Candiota*	600	98.550	29.565	44.550
Caxias do Sul	300	49.275	14.782,5	22.275
Giruá	300	49.275	14.782,5	22.275
Minas do Leão	3.480	571.590	171.477	258.390
Santa Maria	300	49.275	14.782,5	22.275
São Leopoldo	1.000	164.250	49.275	74.250
Palmeira das Missões	200	32.850	9.855	14.850
Total	-	-	-	458.865

\* Informação oficial da empresa administradora do empreendimento.

De acordo com Surendra *et al.* (2014), 1 m<sup>3</sup> de gás de aterro sanitário contendo 60% de metano corresponde a 5,97 kWh de equivalentes de eletricidade. Partindo deste princípio, e considerando 30% de eficiência de conversão de energia (LEME *et al.*, 2014), temos os seguintes potenciais estimados de produção de energia elétrica por aproveitamento do biogás no RS, conforme mostra a Tabela 4.

**Tabela 4. Produção estimada de energia elétrica em cada aterro sanitário.**  
Fonte: Autores do Trabalho.

Aterro Sanitário	Produção de Biogás (m³/h)	Produção de Energia Elétrica (kWh)
Candiota	1.856	3.324
Caxias do Sul	928	1.662
Giruá	928	1.662
Minas do Leão	10.766	19.282
Santa Maria	928	1.662
São Leopoldo	3.094	5.541
Palmeira das Missões	619	1.109
Total	19.119	34.242

A Tabela 4 demonstra que os 7 aterros sanitários listados podem produzir cerca de 34 MWh de eletricidade equivalente com aproveitamento do biogás gerado. Seriam quase 5 vezes a potência instalada na usina termelétrica que utiliza biogás gerado no aterro sanitário de Minas do Leão, que é de 7 MW. Considerando-se que no ano de 2017 cada residência gaúcha consumiu, em média, por mês, 183 kWh, pode-se dizer que seria energia elétrica suficiente para abastecer cerca de 134.000 moradias no Estado. O cálculo da média mensal de consumo (kWh) por residência gaúcha foi feito após obter-se a média mensal em MWh de cada concessionária de energia – AES Sul, CEEE e RGE, ano base 2017. (FEE, 2018)

Segundo Solvi (2016b), são cerca de 25.000 moradias recebendo energia elétrica sustentável proveniente do aterro sanitário de Minas do Leão. Analisando este cenário, pode-se verificar que pouco mais de 20% do potencial energético dos RSU no Estado do Rio Grande do Sul está sendo explorado.

Em 2014, o Brasil produziu 69 MW de energia através de biogás gerado em aterros sanitários nas cidades de São Paulo, Belo Horizonte, Salvador e Uberlândia (LEME *et al.*, 2014). Considerando esta afirmação, podemos dizer que o Estado gaúcho produz apenas cerca de 10% da energia limpa produzida por estes municípios, sendo que em 2010 contava com 10.693.929 habitantes, o que representa 63% dos 16.908.323 habitantes das 4 cidades (IBGE, 2010). A fim de tentar reverter este quadro, o poder executivo gaúcho disponibilizou um programa de incentivos para conversão de energia elétrica através de fontes renováveis (SME, 2016).

## CONCLUSÃO

Com os dados apresentados neste artigo, conclui-se que o Rio Grande do Sul ainda tem muito a explorar do biogás gerado pelos seus principais aterros sanitários. Conforme foi demonstrado na Tabela 1, este Estado ainda depende muito das energias não-renováveis, especialmente petróleo e carvão. Dos 7,02% de participação da fonte de energia considerada como “outros renováveis”, grande parte deve-se ao biodiesel, do qual os gaúchos são grandes produtores. Fazendo-se uma análise mais crítica, podemos considerar que a participação destas fontes renováveis na matriz energética estadual é a menor entre todas, visto que já não há oferta interna de energia por parte da cana de açúcar. Um dado preocupante é que, de 2010 a 2014, as energias renováveis tiveram sua participação na matriz energética do Rio Grande do Sul reduzida em mais de 9 pontos percentuais. No Brasil, a redução foi de 3,5 pontos percentuais.

Outro dado importante é que o número de casas gaúchas abastecidas com energia elétrica proveniente do biogás gerado em aterros sanitários poderia ser ainda maior do que as 134.000 estimadas neste artigo, visto que esta energia renovável também poderia ser produzida em estações de tratamento de efluentes, dejetos de animais, frigoríficos, entre outros. Talvez, com uma maior adesão aos programas de incentivo, como o Programa Gaúcho de Incentivo à Geração e Utilização de Biometano, o RS Energias Renováveis (programa destinado ao desenvolvimento do setor elétrico regional através do incentivo às fontes renováveis) e o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA (criado pela Lei Federal nº 10.438/2002) seja possível transformar, aos poucos, a matriz energética do país em uma mais sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 10.004:2004, resíduos sólidos-classificação**. 71 p. 2004.

2. Bardelin, C.E.A. **Os Efeitos do Racionamento de Energia Elétrica Ocorrido em 2001 e 2002 com Ênfase no Consumo de Energia Elétrica.** Dissertação de Mestrado. 2004. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-23062005-084739/pt-br.php>. Acesso: 19 de dezembro de 2016.
3. Brasil. **Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002.** Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, nº 9.648, de 27 de maio de 1998, nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº 5.655, de 20 de maio de 1971, nº 5.899, de 5 de julho de 1973, nº 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/2002/L10438.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2002/L10438.htm). Acesso: 15 de outubro de 2016.
4. Brasil. **Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso: 10 de agosto de 2016.
5. Capeletto, G. J.; Moura, G. H. Z. **Balanco energético do Rio Grande do Sul: ano base 2014.** Porto Alegre, Grupo CEEE/ Secretaria de Minas e Energia do Rio Grande do Sul, 2015. 200p.; il. Disponível em: <http://www.minasenergia.rs.gov.br/upload/arquivos/201603/02113888-balancoenergetico-do-rio-grande-do-sul-2015-ano-base-2014-1.pdf>. Acesso: 26 de outubro de 2016.
6. Chernicharo, C.A.L. **Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores Anaeróbios.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, v. 5, 246 pp, 1997.
7. Ecocitrus. **Biogás – GNVerde.** Disponível em: <http://www.ecocitrus.com.br/index.php/produtos-e-servicos/biogas-gnverde-11>. Acesso: 24 de outubro de 2016.
8. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Nota técnica DEA 18/14: Inventário energético dos resíduos sólidos urbanos.** Série recursos energéticos. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Serie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2018%20%20%20Inventário%20Energético%20de%20Resíduos%20Sólidos%20Urbanos.pdf>. Acesso: 12 de setembro de 2016.
9. Fundação de Economia e Estatística (FEE). **Indicadores de energia elétrica.** 2017. Disponível em: <http://www.feedados.fee.tc.br/feedados/#!pesquisa=0>. Acesso: 27 de janeiro de 2018.
10. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM). **Licença de operação Meio Oeste Ambiental LTDA.** Candiota. Disponível em: [http://ww2.fepam.rs.gov.br/doclics/signed/2016/770442\\_signed.pdf](http://ww2.fepam.rs.gov.br/doclics/signed/2016/770442_signed.pdf). Acesso: 22 de agosto de 2016.
11. G1 – Jornal da Globo. **Produção de energia elétrica nas termelétricas bate recorde neste ano.** 2014. Disponível em: <http://g1.globo.com/jornal-da-globo/noticia/2014/08/producao-de-energia-eletrica-nas-termeltricas-bate-recorde-neste-ano.html>. Acesso: 19 de dezembro de 2016.
12. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo demográfico.** 2010. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/panorama>. Acesso: 26 de janeiro de 2018.
13. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Climate Change 1995.** The Science of Climate Change. Cambridge University Press, 1996. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg1/ipcc\\_sar\\_wg1\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg1/ipcc_sar_wg1_full_report.pdf). Acesso: 19 de dezembro de 2016.
14. Jornal do Comércio. **RS lança programa de incentivo a energias renováveis.** Disponível em: [http://jcrs.uol.com.br/\\_conteudo/2016/08/economia/513597-rs-lanca-programa-de-incentivo-a-energias-renovaveis.html](http://jcrs.uol.com.br/_conteudo/2016/08/economia/513597-rs-lanca-programa-de-incentivo-a-energias-renovaveis.html). Acesso: 10 de outubro de 2016.
15. Konrad, O.; Filho, M.G.; Lume, M.; Hasan, C. **Atlas das biomassas do Rio Grande do Sul para produção de biogás e biometano.** Ed. da Univates, 2016. Disponível em: <http://www.minasenergia.rs.gov.br/upload/arquivos/201608/31073746-atlas-das-biomassas.pdf>. Acesso: 20 de setembro de 2016.
16. Lacerda, G.B.M.; Guimarães, H.Y.H.R.; Andrade, E.S.M.; Teixeira, G.P.; Freitas, M.A.V. **Biogás de aterros: a contribuição do Brasil na gestão de resíduos sólidos urbanos e na mitigação do efeito estufa através dos mecanismos de desenvolvimento limpo.** Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.thecnna.com/pdf/cbe2008.pdf>. Acesso: 02 de outubro de 2016.
17. Leme, M.M.V.; Rocha, M.H.; Lora, E.E.S.; Venturini, O.J.; Lopes, B.M.; Ferreira, C.H. **Techno-economic analysis and environmental impact assessment of energy recovery from municipal solid waste in Brazil.** Resources, Conservation and Recycling, n. 87, p. 8-20, 2014. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/resconrec>. Acesso: 25 de agosto de 2016.
18. Lobato, L.C.S.; Chernicharo, C.A.L.; Pujatti, F.J.P.; Martins, O.M.; Melo, G.C.B.; Recio, A.A.R. **Use for biogas for cogeneration heat and electricity for local application: performance evaluation of an engine power generator and a sludge thermal dryer.** Water Science & Technology, p. 159-167, 2013.
19. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Protocolo de Quioto.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quiotoresconrec>. Acesso: 19 de dezembro de 2016.

20. Necker, H.S.; Rosa, A.L.D. **Theoretical estimate of landfill gas generation of the future landfill in Ji-Paraná - RO.** Electronic journal of management, education and environmental technology (REGET), v. 17, n. 17, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/index.php/reget/article/view/10969>. Acesso: 12 de setembro de 2016.
21. Rio Grande do Sul. **Lei nº 14.864, de 11 de maio de 2016.** Institui a Política Estadual do Biometano, o Programa Gaúcho de Incentivo à Geração e Utilização de Biometano – RS-Gás – e dá outras providências.
22. Ryckebosch, E.; Drouillon, M.; Vervaeren, H. **Techniques for transformation of biogas to biomethane.** Biomass and Bioenergy, n. 35, p. 1633-1645, 2011. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/biombioe>. Acesso: 22 de outubro de 2016.
23. Secretaria de Minas e Energias (SME). **Programa RS energias renováveis.** Disponível em: <http://www.minasenergia.rs.gov.br/sobre-o-programa>. Acesso: 21 de novembro de 2016.
24. Soares, R.C.; Silva, S.R.C.M. **Evolução histórica do uso de biogás como combustível.** Anais V Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte-Nordeste de Educação Tecnológica. Maceió: 2010. Disponível em: <http://www.connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/843/570>. Acesso: 27 de maio de 2016.
25. Solvi. **Gás total.** Disponível em: <http://www.solvi.com.br/gas-total>. Acesso: 23 de outubro de 2016a.
26. Solvi. **Relatório anual 2016 – Exercício 2015.** p. 26-27, 2016. Disponível em: <http://www.solvi.com.br/wp-content/uploads/2016/08/RA-Solvi-2015-2016.pdf>. Acesso: 23 de outubro de 2016b.
27. Surendra, K.C.; Takara, D.; Hashimoto, A.G.; Khanal, S.K. **Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, n. 31, p. 846-859, 2014. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/rser>. Acesso: 08 de agosto de 2016.
28. Szymanski, M.S.E.; Balbinot, R.; Schirmer, W.N. **Semina: Ciências agrárias**, v. 31, n. 4, p. 901-912, Londrina, 2010. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/viewArticle/7596>. Acesso: 08 de maio de 2016.
29. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). **Kyoto Protocol.** Reference Manual. 2008. Disponível em: [http://unfccc.int/resource/docs/publications/08\\_unfccc\\_kp\\_ref\\_manual.pdf](http://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf). Acesso: 19 de dezembro de 2016.