

Estado da arte dos aterros de resíduos sólidos urbanos que aproveitam o biogás para geração de energia elétrica e biometano no Brasil

State of art of landfills that use biogas for the generation of electrical energy and biomethane in Brazil

Maria Cândida Barbosa Nascimento^{1*} , Elcires Pimenta Freire¹,
Francisco de Assis Souza Dantas¹ , Miguel Bortoletto Giansante¹

RESUMO

O aproveitamento do biogás gerado a partir da decomposição da matéria orgânica dos resíduos sólidos urbanos (RSU), além de ser uma fonte renovável de energia, também contribui com a redução do lançamento de metano e do dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, que são importantes gases de efeito estufa (GEE). No entanto, o biogás é pouco explorado no país e seu potencial continua sendo controverso, principalmente devido às diferentes metodologias de avaliação adotadas. A pesquisa realizada mostra que, entre 2004 e 2015, foram implantadas nos aterros de resíduos do País somente 9 usinas termelétricas, que juntas geram 86,3 MW de energia elétrica, e duas usinas que produzem biometano. Considerando as estimativas existentes, o Brasil explora somente de 7 a 20% do biogás produzido nos aterros de resíduos para fins energéticos.

Palavras-chave: aterro sanitário; biogás; energia renovável; gases de efeito estufa; resíduos sólidos urbanos; usinas termelétricas.

ABSTRACT

The use of biogas generated by the decomposition of organic matter from urban solid waste, besides being a renewable source of energy, also contributes to the reduction of the methane and carbon dioxide's release into the atmosphere, which are significant greenhouse effect gases (GHG). However, biogas is little explored in the country and its potential remains controversial, mainly due to the different adopted methodologies of evaluation. This research shows that, between 2004 and 2015, only nine thermoelectric plants were implanted in waste landfills in the country, which together generated 86.3MW of electricity and two plants that produced biomethane. Considering the existing estimates, Brazil exploits only 7 to 20% of the biogas produced in landfills for energy purposes.

Keywords: sanitary landfill; biogas; renewable energy; greenhouse gases; urban solid waste; thermoelectric plants.

INTRODUÇÃO

O território nacional encontra-se intensamente urbanizado, visto que 84,4% da população reside nas zonas urbanas dos municípios e 15,4% nas zonas rurais (IBGE, 2011). Além disso, quase metade da população brasileira (44%) concentra-se em municípios que possuem mais de 200 mil habitantes (IBGE, 2010), favorecendo assim a concentração da geração e da disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU), que são compostos, em média, de 52% de matéria orgânica. Em 2014, o Brasil gerou cerca de 219 mil toneladas diárias de RSU (ABRELPE, 2015) e, portanto, cerca de 114 mil t/dia de resíduos orgânicos que foram confinados em aterros de resíduos, tornando-os grandes potenciais para a exploração de biogás e consequente fonte alternativa renovável para

a geração de energia elétrica e/ou térmica. Segundo Reichert (2014), cada tonelada de resíduo disposto possui potencial energético da ordem de 0,1 a 0,2 MWh.

O atual cenário sobre as mudanças climáticas mostra a urgente necessidade de as autoridades nacionais colocarem a questão ambiental no centro dos debates de suas economias, buscando, dessa maneira, soluções ambientalmente adequadas que visem diminuir a dependência da utilização de combustíveis fósseis e não renováveis como fontes alternativas de energia. Destaca-se a utilização do metano presente no biogás, que, além de representar uma importante fonte alternativa de geração de energia, deixa de ser lançado na atmosfera, uma vez que é considerado um importante gás de efeito estufa (GEE). Se comparado

¹Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo - São Paulo (SP), Brasil.

*Autor correspondente: mariacandida.bn@gmail.com

Recebido: 27/10/2016 - Aceito: 31/10/2017 - Reg. ABES: 171125

ao dióxido de carbono (CO₂), possui potencial de aquecimento global 28 vezes superior, considerando o período de 100 anos (IPCC, 2014).

A produção de metano depende das características dos RSU (composição, tamanho das partículas, umidade, temperatura e pH) e das técnicas de implantação e operação dos locais de disposição final. Ensaio realizados nos aterros sanitários de Caieiras e Santo André, ambos localizados no Estado de São Paulo, mostram que a produção de metano por tonelada de RSU foi de 99,69 m³ (PECORA; VELAZQUÉZ; COELHO, 2010) e 73,59 m³ (ICLEI, 2009), respectivamente.

O aproveitamento da biomassa dos RSU como fonte energética induz a melhoria nas condições operacionais dos aterros de resíduos e gera receita pela obtenção de créditos de carbono e venda de eletricidade. Contribui com a redução de outros gases lançados na atmosfera, como o sulfeto de hidrogênio, que emite odor desagradável, e o monóxido de carbono e hidrogênio, que são inflamáveis.

Embora o governo brasileiro tenha criado o Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia (PROINFA), por meio da Lei Federal nº 10.438/2002 (BRASIL, 2002), a pesquisa realizada no presente estudo mostra que o País tem poucos projetos implantados para a geração de energia elétrica a partir do biogás, sendo que a maioria dos existentes faz parte do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (BARIN, 2012).

No Brasil, entre 2004 e 2015, o biogás gerado nos aterros de resíduos foi explorado em 9 termelétricas, que produziram juntas 86,6 MW de energia elétrica, em duas usinas, que geraram 57 mil metros cúbicos diários de biometano, e em três aterros sanitários, que o utilizam como fonte de calor para a evaporação do lixiviado.

Nesse contexto, este artigo apresenta os resultados obtidos por meio de estudo sobre os projetos de aproveitamento de biogás nos aterros de RSU existentes no Brasil para geração de energia elétrica e biometano.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa, realizada em três etapas, foi fundamentada em dados disponíveis em *sites* oficiais de entidades públicas e privadas, que direta e/ou indiretamente estão envolvidas na gestão de RSU, e em iniciativas de aproveitamento energético dos gases gerados nos aterros de resíduos do Brasil.

A primeira etapa se restringiu à obtenção de dados sobre a atual situação da geração e da disposição final dos RSU, da matriz energética brasileira e sua implicação no aumento das emissões de GEE e sobre o potencial energético dos aterros sanitários no país.

Já na segunda etapa, a pesquisa envolveu o levantamento dos projetos registrados no âmbito do MDL, com a Secretaria Executiva da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (BRASIL, 2015) e da United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, 2015). Foram

analisados os objetivos dos projetos (captura de biogás para queima em *flares* enclausurados, geração de energia elétrica ou biometano), as situações de seus registros (validação e/ou emissão de registros) e a obtenção de Certificados de Redução de Carbono (CER) pela queima ou pelo aproveitamento energético do biogás. Envolveu também a pesquisa em artigos técnicos, buscando identificar em quais aterros de resíduos o biogás vem sendo captado para aproveitamento energético.

Por fim, na terceira etapa, realizou-se a análise comparativa entre o potencial instalado e o estimado de geração de energia elétrica nos aterros brasileiros de resíduos.

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL E AQUECIMENTO GLOBAL

As fontes de geração de energia elétrica no Brasil durante os anos de 2013 e 2014 sofreram consideráveis alterações, ocasionadas principalmente pelas condições climáticas desfavoráveis, que reduziram a oferta hídrica no País, e pelo aumento de 2,9% no consumo de eletricidade em 2014 (EPE, 2015). Mesmo com o incremento de 3.177 MW na produção de energia no parque hidrelétrico nacional, que foi instalado durante esses anos, nota-se, pela Figura 1, que, em 2014, a participação de fontes renováveis (hidráulica, eólica, biomassa e nuclear) sofreu recuo de 4,6% na matriz nacional se comparada ao ano de 2013, mesmo com o aumento de 85,6% da participação da energia eólica. Por outro lado, as fontes de energia não renováveis que queimam combustíveis fósseis (térmicas a óleo diesel, gás natural e carvão), consideradas importantes fontes causadoras do aquecimento global, aumentaram em média 19,8%. A produção das usinas térmicas movidas a óleo diesel e carvão mineral aumentaram em 43,2 e 24,2%, respectivamente (EPE, 2015).

De acordo com o Relatório sobre o Estado da Temperatura de 2014, publicado pela Sociedade Meteorológica Americana (Ecodesenvolvimento, 2015), a temperatura média anual mundial atingiu o seu ponto mais quente em 135 anos, com registros recordes de calor em todo o mundo, com exceção do leste da América do Norte, que manteve temperaturas abaixo da média anual. Os oceanos também atingiram recordes de calor e acentuada elevação do nível do mar.

O Balanço Energético Nacional de 2015 mostra que, em 2014, a capacidade instalada de energia elétrica oriunda de fontes renováveis foi de 133.914 MW (EPE, 2015), sendo que 12.686 MW corresponderam à gerada a partir da biomassa (agroindustriais, óleos vegetais, florestas, resíduos animais e RSU) (ANEEL, 2015b).

GERAÇÃO E DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A Região Sudeste abriga 42% da população brasileira e coleta praticamente a metade (52,6%) do volume total de RSU gerados no Brasil,

que são dispostos predominantemente (73% do total) em aterros sanitários. Em seguida, a Região Nordeste, com 27,7% da população, coleta cerca de um quarto dos RSU (22,1%), que são dispostos, em sua maioria, (64,3%) em lixões e aterros controlados (condições inadequadas), conforme mostra a Tabela 1.

MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO

Em 1997, foi redigido o Protocolo de Quioto, que estabeleceu a redução da emissão dos três principais GEE responsáveis pelo aquecimento global: o gás carbônico (CO₂), o metano (CH₄) e o dióxido de nitrogênio (NO₂). O CO₂ é o maior contribuinte do total das emissões de GEE dos países desenvolvidos, devido à queima de combustíveis fósseis. Em segundo lugar está o CH₄, que possui potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao do CO₂ (IPCC, 1996) e é gerado nos aterros de RSU, nas estações de tratamento de esgotos (ETE), pela pecuária (dejetos de animais) e pela agricultura (vinhoto).

Visando reduzir as emissões de GEE, foram criados três mecanismos de flexibilização, sendo que dois são voltados aos países desenvolvidos

com metas de redução estabelecidas e acordadas (Comércio de Emissões – ETU – e Projetos de Implementação Conjunta – JI) e o terceiro, de interesse no presente trabalho, denominado de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que é voltado aos países em desenvolvimento.

Os projetos do MDL são elegíveis sob o conhecido Mercado Internacional de Carbono, que tem, como alguns dentre diversos objetivos, a queima e o aproveitamento energético do biogás gerado nos aterros, que recebem Certificados de Redução de Emissão (CER) por cada tonelada métrica de CO₂ não emitida, reduzida ou sequestrada. Em termos mundiais, o país destaca-se como o terceiro a deter o maior número de projetos aprovados e registrados (4,74% do total) pela Organização das Nações Unidas (ONU), perdendo somente para a Índia (19,85%) e China (48,94%) (ABRELPE, 2012).

A pesquisa realizada com o MCTI e a UNFCCC mostra que foram registrados 59 projetos do MDL visando à captação de biogás, sendo que 31 (52% do total) são voltados à geração de energia elétrica e biometano; 8 (14%), à queima do biogás em *flare(s)* enclausurado(s), com possibilidade futura de gerar energia elétrica ou biometano; e 20 (34%), somente à queima do biogás (BRASIL, 2015; UNFCCC, 2015).

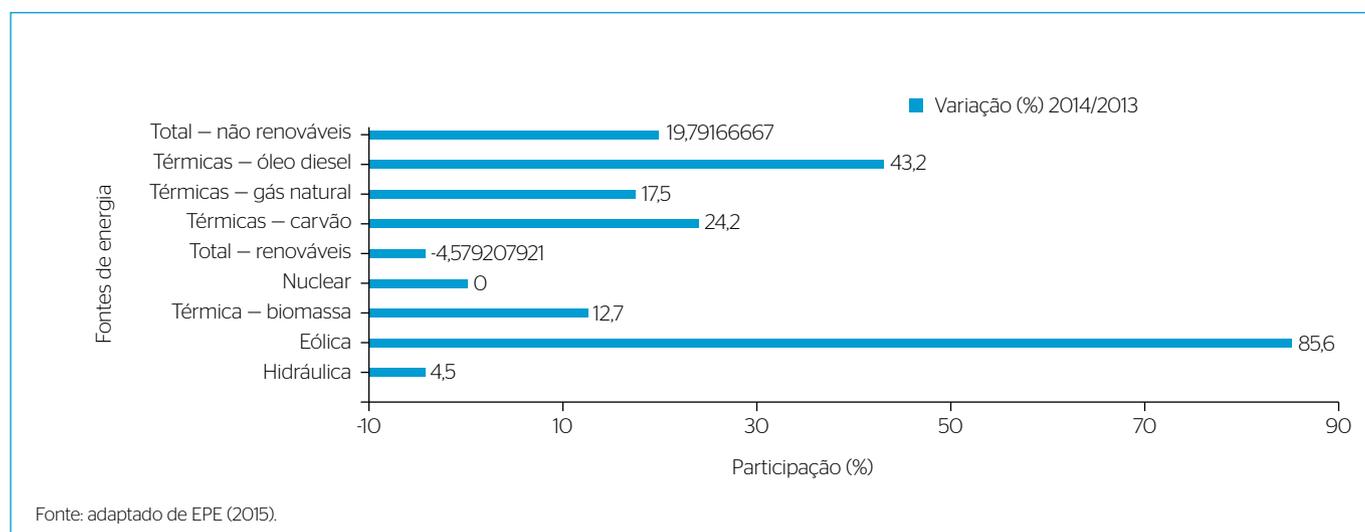


Figura 1 – Variação da participação (%) das diversas fontes de geração de energia elétrica no País entre os anos de 2004 a 2013.

Tabela 1 – População, quantidade de resíduos coletados e formas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.

Região	População (IBGE, 2010)		Resíduo coletado		Disposição final			
	Habitantes	% total	t/dia	% total	Lixão e aterro controlado		Aterro sanitário	
					t/dia	% de geração	t/dia	% total
Norte	17.013.559	8,5	12.692	6,4	8.149	64,2	4.543	35,8
Nordeste	55.794.707	27,7	43.894	22,1	28.206	64,3	15.688	35,7
Centro-Oeste	14.993.191	7,5	16.217	8,2	11.267	69,5	4.950	30,5
Sudeste	84.465.570	42,0	104.631	52,6	28.286	27,0	76.345	73,0
Sul	28.795.762	14,3	21.316	10,7	6.211	29,1	15.105	70,9
Brasil	201.062.789	100,0	198.750	100,0	82.119	41,3	116.631	58,7

Fonte: adaptado de ABRELPE (2015) e IBGE (2010).

Projetos para geração de energia elétrica e biometano

No Brasil, até o ano de 2016, foram registrados 30 projetos com potencial de gerar juntos 286,04 MW de energia elétrica, sendo que o primeiro ocorreu em 2004, no aterro sanitário Nova Gerar, em Nova Iguaçu (RJ). Estão localizados principalmente na região sudeste (20 projetos) e são responsáveis por 72% do total do potencial estimado (206,2 MW). Para a geração de biometano, existe somente o projeto do antigo lixão de Gramacho, em Duque de Caxias (RJ). As distribuições da quantidade e do potencial dos projetos nas regiões são representadas na Figura 2.

Dentre os projetos registrados para geração de energia elétrica, somente sete foram implementados, os quais juntos geram 56,1 MW: Centrais de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) BR-040 e Uberlândia I/II, em Minas Gerais; Bandeirantes, Sítio São João e Guataparã, em São Paulo; e Canhanduba, em Santa Catarina. No entanto, somente três obtiveram CER, conforme mostra a Tabela 2.

Projetos de queima do biogás em flare(s) enclausurado(s) com possibilidade futura de geração de energia elétrica ou biometano

No período de 2003 a 2016, foram registrados oito projetos com o objetivo inicial de coletar o biogás e depois queimá-lo em *flare(s)* enclausurados, evitando assim a emissão de metano na atmosfera. No futuro, esses projetos também poderão gerar energia elétrica ou biometano, que dependerá da concentração e qualidade de biogás coletado (Tabela 3).

Projetos de queima do biogás em flare(s) enclausurado(s)

Entre 2006 e 2012, verifica-se o registro de 20 projetos voltados à captura e à queima de biogás em *flare(s)* enclausurado(s), sendo que 13 obtiveram CER. Estão localizados principalmente na Região Sudeste

(13 projetos), e o restante nas Regiões Sul (4), Nordeste (2) e Norte (1), conforme mostra a Figura 3.

Os projetos que foram registrados visando à captura e à queima do biogás em *flares* estão relacionados na Tabela 4.

USINAS TERMELÉTRICAS IMPLANTADAS NO BRASIL QUE APROVEITAM O BIOGÁS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A pesquisa realizada no presente trabalho mostra que, no Brasil, entre os anos de 2004 e 2015, foram implantadas nove usinas termelétricas que aproveitam o biogás dos aterros de resíduos que geram 86,3 MW de energia elétrica (potência total instalada), conforme mostram a Figura 4 e a Tabela 5.

Usinas termelétricas na Região Sudeste

Na Região Sudeste, até o ano de 2015, foram implantadas, nos Estados de Minas Gerais e São Paulo, seis usinas termelétricas, que totalizam a potência instalada de 57,1 MW de energia elétrica. Com exceção da Usina Valor Gás, em Juiz de Fora (MG), as demais são participantes dos projetos do MDL, sendo que três delas já obtiveram CRE (CTRS BR-040, em Minas Gerais, e São João e Bandeirantes, em São Paulo) (Tabelas 2 e 5).

Usina termelétrica de biogás da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos da BR-040, em Belo Horizonte (MG)

A usina funciona desde 2011, sob responsabilidade do Consórcio Horizonte ASJA, utilizando quatro motores geradores (1,4 MW cada), totalizando a potência de 5,7 MW. Em 2015, teve um motor desativado, passando a produzir 4,3 MW de energia elétrica (UNFCCC, 2015), e foi injetada na rede da Companhia Energética de Minas Gerais

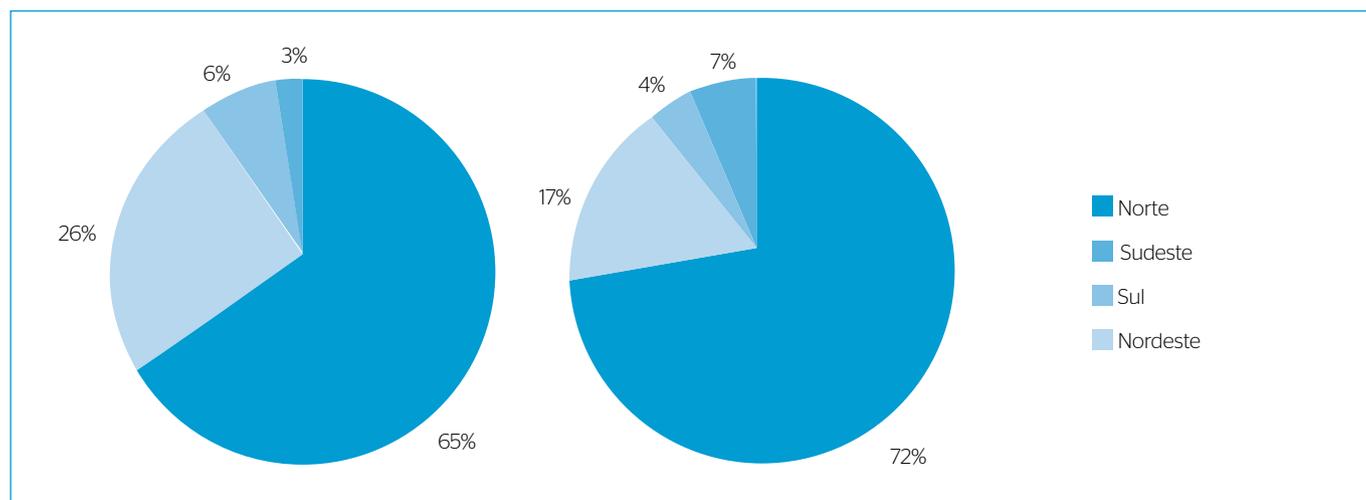


Figura 2 - Projetos registrados no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo para geração de energia elétrica e biometano: (A) relação da distribuição da quantidade de projetos (%); (B) potencial de geração de energia (%).

Tabela 2 - Relação dos projetos registrados no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo visando à captura do biogás para geração de energia elétrica e biometano.

Região	UF	Aterro de resíduos	Município	Nº UNFCCC/ano	Início da obtenção de crédito	Potência máxima (MW)	Status em 2015 (UNFCCC)
Sudeste	ES	AS da Marca	Cariacica	0137/2006	01/07/2004	11,0	CER (2004 a 2011/queima)
	MG	CTRS/BR-040	Belo Horizonte	3464/2011	04/06/2011	4,5	CER (2011/energia)
		Uberlândia I e II	Uberlândia	7110/2012	01/08/2012	2,8	Registrado
		Macaúbas	Sabará	4311/2012 ¹	01/01/2013	12,8	retirada de projeto
		Total do Estado de Minas Gerais	3 projetos			20,1	
	RJ	Nova Gerar	Nova Iguaçu	0008/2004	01/07/2004	12,5	8 CER (2004 a 2014/queima)
		CTR Santa Rosa	Seropédica	6573/2012	22/07/2010	25,5	1 CER (2012 a 2013/queima)
		Gramacho	Duque de Caxias	9087/2012	01/01/2013	8,900 ²	Registrado
		ESTRE Itaboraí	Itaboraí	408/2012 ¹	01/07/2013	27,0	Registro em validação
		Total do Estado do Rio de Janeiro	4 projetos			65,0	
	SP	Bandeirantes	São Paulo	0164/2006	22/05/2007	22,2	CER (2010 a 2012/energia)
		Sítio São João	São Paulo	0373/2006	01/01/2006	20,0	CER (2007 a 2012/energia)
		CGR Tremembé	Tremembé	0027/2005	01/01/2003	-	CER (2003 a 2007/evaporação de chorume).
		CTL São Paulo	São Paulo	5947/2012	01/07/2012	19,2	CER (2013 a 2014/queima)
		Lara	Mauá	0091/2006	15/09/2006	11,0	CER (2006 a 2009 / queima)
		Constroeste	Onda Verde	8603/2012	01/01/2013	7,2	Registrado
		ESTRE Piratininga	Piratininga	8213/2012	01/01/2014	6,0	Registrado
		Guatapar	Guatapar	6553/2012	18/07/2012	5,5	Registrado
		Proactiva: CGA Iperó	Iperó	8751/2012	01/09/2013	8,5	Registrado
		TECIPAR -Engenharia e Meio Ambiente Ltda.	Santana de Parnaíba	7799/2012	01/01/2009	6,5	Registrado
CGR Catanduva		Catanduva	385/2012 ¹	01/01/2013	4,5	Registro em validação	
Corpus/Araúna		Indaiatuba	287/2010 ¹	01/05/2010	Inexistente	Registro em validação	
		Total do Estado de São Paulo	12 projetos			110,6	
TOTAL	Total da Região Sudeste	20 projetos			206,2		
Nordeste	BA	Feira de Santana	Feira Santana	1626/2008	12/07/2008	-	Registrado
	PE	CTR Candeias	Jaboatão dos Guararapes	3958/2011	29/09/2011	8,5	CER (2011 a 2014/queima)
	MA	Rosário	Rosário	8242/2013	01/01/2004	5,7	Registrado
	RN	Natal	Ceará-Mirim	7637/2012	01/12/2012	4,2	Registrado
	AL	CTR Maceió	Maceió	409/2012 ¹	01/07/2013	10,5	Registro em validação
	PE	CTR/PE LCarbon	Igarassu	Sem registro	01/09/2012	11,2	Registro em validação
	PI	CTR Teresina	Teresina	412/2012 ¹	01/01/2014	4,5	Registro em validação
	SE	ESTRE Aracajú	Rosário do Catete	410/2012 ¹	01/01/2014	4,5	Registro em validação
TOTAL	Total da Região Nordeste	8 projetos			49,1		
Sul	SC	Canhanduba	Itajaí	9943/2014	01/07/2014	1,1	Registrado
	PR	ESTRE Iguaçu	Fazenda Rio Grande	411/2012 ¹	01/07/2013	10,5	Registro em validação
	TOTAL	Total da Região Sul	2 projetos			11,6	
Norte	AM	Manaus	Manaus	4211/2011	08/07/2011	19,2	5 CER (2011 a 2014/queima)
	Total Brasil	31 projetos			286,1		

Fonte: Brasil (2015); UNFCCC (2015).

UNFCCC: *United Nations Framework Convention on Climate Change*; AS: aterro sanitário; CER: Certificado de Redução de Emissão; CTRS: Central de Tratamento de Resíduos Sólidos; CTR: Central de Tratamento de Resíduos; CGR: Central de Gerenciamento de Resíduos; CTL: Central de Tratamento de Resíduos Leste; CGA: Centro de Gerenciamento Ambiental; ¹ registro MCTIC (Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações); ² unidade do potencial de geração de biometano (Nm³/h).

(NARUC, 2012). O custo de implantação foi de 4,5 milhões de euros (R\$ 15,5 milhões, € = R\$ 3,44) (FEAM, 2014).

Ela explora o biogás do aterro da CTRS/BR-040, que foi operado de forma inadequada entre 1975 e 1994 (no início, como lixão e, depois, como aterro controlado) e, posteriormente, de 1995 a 2007, como aterro sanitário (NARUC, 2012), acumulando cerca de 24 milhões de metros cúbicos de RSU (FEAM, 2014).

Usina termoeletrica do aterro sanitário de Uberlândia, Uberlândia (MG)

A usina entrou em funcionamento em 2012, sob responsabilidade da Energias Geração de Energia. Utiliza dois motores geradores, que produzem ambos 2,8 MW de energia elétrica, a qual é injetada na rede da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) (UNFCCC, 2015). O custo de implantação é estimado em 10,8 milhões de euros (R\$ 37,2 milhões, € = R\$ 3,44) (FEAM, 2014). Ela explora o biogás produzido nos aterros de Uberlândia I e II. O primeiro foi desativado em 2010, armazenando 2,1 milhões de toneladas de RSU. Em 2010, a disposição dos resíduos foi transferida para o segundo, que tem capacidade para dispor 4,5 milhões de metros cúbicos de RSU, em 18 anos (BRASIL, 2015). Dispõe diariamente 600 t/dia de RSU (FEAM, 2009).

Usina termoeletrica ValorGás, Juiz de Fora (MG)

A usina foi implantada em 2013, em parceria com a ENC Power, do Grupo ENC Energy (ANEEL, 2015b). Utiliza um motor gerador, que produz 1,43 MW de energia. Há previsão de ampliação para 4,28 MW até 2022 (FEAM, 2014). Ela explora o biogás produzido no aterro sanitário da Central de Tratamento de Resíduos (CTR) da Zona da Mata, que funciona desde 2010, atendendo diariamente cerca de 851 mil habitantes. Foi projetado para dispor 3,9 milhões de metros cúbicos de RSU, em 25 anos (Juiz de Fora, 2013).

Usina termoeletrica Bandeirantes, São Paulo (SP)

A usina funciona desde 2004, sob responsabilidade da Biogás Energia Ambiental (Silva, 2006). Foi a primeira termoeletrica nacional produtora de energia elétrica a partir do biogás gerado por RSU, em escala comercial. Possui 24 grupos geradores Caterpillar de 925 kW cada, que proporcionam 22,2 MW de energia elétrica, a qual é injetada na rede da AES Eletropaulo, sendo utilizada nas agências do Itaú Unibanco. Para a sua implantação, foram investidos R\$ 48 milhões (UNFCCC, 2015). Ela utiliza o biogás produzido no aterro sanitário Bandeirantes, que funcionou de 1979 a 2007, dispondo cerca de 7.500 t/dia de RSU. Ocupa uma área de 140 hectares, com taludes de 110 metros de altura (NARUC, 2012). Armazenou cerca de 35 milhões de toneladas de resíduos (Pedott & Aguiar, 2014).

Usina termoeletrica a biogás do Aterro Sítio São João, São Paulo (SP)

A usina funciona desde 2008, sob responsabilidade da São João Energia Ambiental S.A. É operada por 14 motores geradores

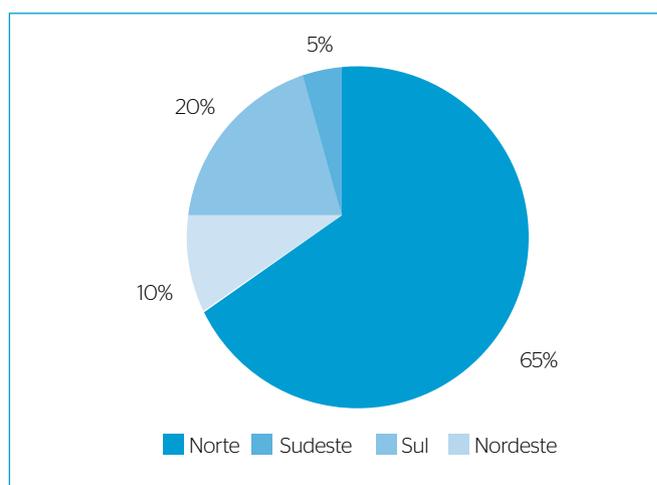


Figura 3 - Distribuição (%) dos projetos de queima de biogás nas regiões do Brasil.

Tabela 3 - Relação dos projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo visando ao aproveitamento da queima do biogás, com possibilidade futura para geração de energia elétrica e biometano.

REGIÃO	UF	Aterro de resíduos	Município	Registro UNFCCC/ ano	Início da obtenção de crédito	Status em 2015 (UNFCCC)
Sudeste	RJ	CTRS Bob Ambiental	Belford Roxo	9295/2012	01/07/2013	Registrado
	SP	CTR Caieiras	Caieiras	0171/2006	31/03/2006	CER (2006 a 2014/queima)
Nordeste	BA	Vega Bahia	Lauro de Freitas	0052/2005	01/01/2004	CER (2004 a 2006/queima)
Sul	RS	CTR Caturrita	Santa Maria	9302/2013	01/07/2013	Registrado
		ITVR São Leopoldo	São Leopoldo	9290/2012	01/07/2013	Registrado
		Rio Grande	Rio Grande	9300/2013	01/07/2013	Registrado
Norte	PA	CPTR Marituba	Marituba	9298/2013	01/07/2013	Registrado
	PA	CPTR Puxinanã	Puxinanã	Sem registro	01/07/2013	Registro cancelado

Fonte: Brasil (2015); UNFCCC (2015).

UNFCCC: *United Nations Framework Convention on Climate Change*; CTRS: Central de Tratamento de Resíduos Sólidos; CTR: Central de Tratamento de Resíduos; CER: Certificado de Redução de Emissão; ITVR: Indústria de Tratamento e Valorização dos Resíduos; CPTR: Central de Processamento e Tratamento de Resíduos.

(1,6 MW cada), que produzem 22,4 MW de energia elétrica, a qual é enviada à rede da AES Eletropaulo (UNFCCC, 2015). O investimento para a implantação do sistema foi de R\$ 64 milhões (CD4CDM, 2013). Ela explora o biogás produzido no aterro sanitário Sítio São João, que funcionou de 1992 a 2007, recebendo em média 6.000 t/dia de RSU (SANTO, 2013). Acumulou 27,9 milhões toneladas de resíduos, em taludes que atingiram até 150 metros de altura (São Paulo, 2008).

Usina termelétrica de Guataparã, Guataparã (SP)

A usina funciona desde agosto de 2014, sob responsabilidade da Estre Energia Renovável (AGÊNCIA ENVOLVERDE, JORNALISMO E SUSTENTABILIDADE, 2014). Produz 4,2 MW de energia elétrica, que abastece a subestação de Pradópolis (SP), da Companhia Piratininga de Força e Luz (CPFL), com custo de implantação na ordem de R\$ 15 milhões (TURIONI, 2014). Utiliza o biogás gerado no aterro sanitário do Centro de Gerenciamento de Resíduos (CGR) Guataparã, que é operado desde 2008, em uma área de 968 mil metros quadrados. Atende diariamente cerca de 871 mil habitantes

e foi projetado para armazenar 10,5 milhões de toneladas de RSU (BRASIL, 2015). O aterro possui licença ambiental para dispor até 3.000 t/dia (CETESB, 2009).

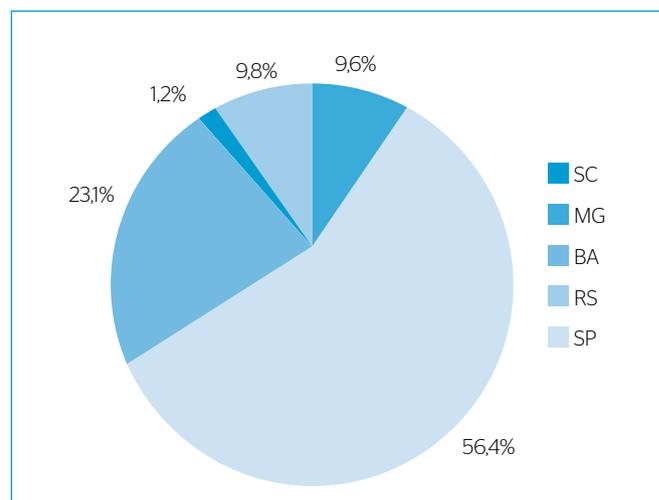


Figura 4 - Relação da distribuição (%) da energia elétrica gerada nas usinas termelétricas implantadas no país.

Tabela 4 - Relação dos projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo visando à captura e à queima do biogás em *flares*.

Região	UF	Aterro de resíduos	Município	Registro UNFCCC (ano)	Previsão da obtenção de crédito	Status (UNFCCC)
Sudeste	ES	CTR VV	Vila Velha	1491/2008	28/05/2008	CER (2008/queima)
	RJ	Itaoca	São Gonçalo	4657/2011	11/08/2011	Registrado
	SP	Anaconda	Santa Isabel	0226/2006	15/01/2007	CER (2007 a 2010/queima)
	SP	Alto Tietê	Itaquaquecetuba	1636/2008	25/09/2008	CER (2008 a 2010) rejeitada
	SP	CDR Pedreira	São Paulo	1134/2008	12/02/2008	CER (2008 a 2013/queima)
	SP	Embralixo/Araúna	Bragança Paulista	1179/2007	01/01/2008	CER (2008 a 2010/queima)
	SP	ESTRE Itapevi	Itapevi	0911/2007	17/08/2007	CER (2007 a 2012/queima)
	SP	Paulínia	Paulínia	0165/2006	14/09/2006	CER (2006 a 2013/queima)
	SP	Terrestre Ambiental	Santos	1133/2008	06/05/2008	CER (2008 a 2009/queima)
	SP	URBAM Araúna	São José dos Campos	1247/2007	27/10/2008	CER (2008 a 2012/queima)
	SP	Quitaúna	Guarulhos	0912/2007	27/05/2007	Registrado
	SP	UTGR Jembeiro	Jembeiro	8011/2012	01/01/2014	Registrado
	SP	Araúna	Marília	283/2010	01/01/2009	Registro em validação
	Nordeste	BA	Canabrava	Salvador	0893/2007	08/04/2007
PB		PROBIOGÁS	João Pessoa	1165/2008	27/11/2008	CER (2008 a 2011/queima)
Sul	RS	Recreio SIL	Minas do Leão	0648/2006	01/12/2007	CER (2007 a 2013/queima)
	SC	Tijuquinhas	Biguaçu	1506/2008	29/10/2008	CER (2008 a 2013/queima)
	SC	SANTECH	Içara	1908/2009	18/02/2010	Registrado
	SC	Laguna	Laguna	Sem registro	01/01/2010	Registro em validação
Norte	PA	Aurá	Belém	0888/2007	30/04/2007	CER (2007 a 2014/queima)

Fonte: Brasil (2015); UNFCCC (2015).

UNFCC: *United Nations Framework Convention on Climate Change*; CTR: Central de Tratamento de Resíduos; CER: Certificado de Redução de Emissão; CDR: Centro de Disposição de Resíduos; UTGR: Unidade de Tratamento e Gestão de Resíduos Sólidos.

Usinas termelétricas nas Regiões Nordeste e Sul

Nas Regiões Nordeste e Sul, foram implantadas três usinas termelétricas, sendo que todas participam do MDL. A Usina Termelétrica de Itajaí, em Santa Catarina, foi registrada com o objetivo de gerar energia elétrica. A Usina Termoverde Salvador, na Bahia, e a Usina Biotérmica Recreio, no Rio Grande do Sul, foram registradas somente para queima do biogás em *flares* (Tabelas 2 e 4).

Usina Termoverde Salvador, Salvador (BA)

A usina Termoverde Salvador, operada pelo Grupo Solvi, foi a primeira a ser implantada na Região Nordeste, em janeiro de 2011. Possui potência instalada de 19,73 MW, que é proporcionada por 19 motores de 1,04 MW cada. A energia elétrica é enviada à rede elétrica da Companhia de Energia Elétrica da Bahia (COELBA) (NARUC, 2012), com custo de implantação estimado em R\$ 50 milhões (SOLVI SOLUÇÕES PARA A VIDA, 2011). Ela explora o biogás gerado no aterro sanitário Metropolitano Centro, que funciona desde 1997, em uma área de 600 mil metros quadrados, atendendo cerca de três milhões de habitantes, que geram, em média, 2.500 t/dia de RSU, sendo projetado para armazenar 18 milhões de toneladas de resíduos (NARUC, 2012).

Usina termelétrica Itajaí Biogás e Energia S.A., Canhanduba (SC)

A usina termelétrica é operada desde 2014 pela empresa Itajaí Biogás e Energia S.A. Produz 1 MW de energia elétrica, a qual é enviada às Centrais

Elétricas de Santa Catarina (CELESC), com custo de implantação de R\$ 7,5 milhões (FLORIPANEWS, 2014). Ela explora o biogás do aterro sanitário de Canhanduba, que funciona desde 2006, dispondo cerca de 300 t/dia de RSU, com previsão para ser encerrado em 2027 (AMFRI, 2014).

Usina termelétrica Biotérmica Recreio, Minas do Leão (RS)

A usina Biotérmica Recreio, operada pelo Grupo Solvi e Copelmi Mineração, foi inaugurada em 2015 (MUYLAERT, 2000). Possui seis motores geradores com potência de 1,426 MW cada, que produz 8,5 MW de energia elétrica, a qual é encaminhada à Subestação Elevadora Areal, da Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica (CEEE-D). A implantação custou R\$ 28.737.130 (BRASIL, 2014). Ela aproveita o biogás do aterro sanitário da Central de Resíduos do Recreio (CRR), que ocupa uma cava remanescente de mineração de carvão, com 73 hectares de área, 51 metros de profundidade e capacidade para dispor 23 milhões de toneladas de RSU, em 23 anos (CRVR, 2013). Em 2014, atendia cerca de 4,0 milhões de habitantes (34% da população gaúcha) de 140 municípios, totalizando o recebimento de 90 mil toneladas/mês de RSU.

USINAS DE APROVEITAMENTO DO BIOGÁS PARA GERAÇÃO DE BIOMETANO IMPLANTADAS NO BRASIL

No Brasil, a primeira iniciativa de aproveitamento de biogás para produzir biometano ocorreu na década de 1970, na cidade do Rio

Tabela 5 - Usinas termelétricas implantadas para geração de energia elétrica.

Região	UF	Usina termelétrica	Município	Início da operação	Potência explorada (MW)	Custo (milhões de R\$)	Envio da energia
Sudeste		CTR BR-040	Belo Horizonte	05/2011	4,3	19,8	CEMIG
		Aterros Uberlândia I/II	Uberlândia	2012	2,8	47,5	CEMIG
	MG	Valor Gás	Juiz de Fora	08/2013	1,4	Desconhecido.	Desconhecido
	<i>Total</i>	<i>Minas Gerais</i>			<i>8,5</i>	<i>67,3</i>	
		Bandeirantes	São Paulo	01/2004	22,2	48	AES ELETROPAULO
	SP	Biogás Aterro São João	São Paulo	06/2007	22,4	64	AES ELETROPAULO
		Guataparã	Guataparã	08/2014	4,2	15	CPFL (subestação Pradópolis)
	<i>Total</i>	<i>São Paulo</i>			<i>48,8</i>	<i>127</i>	
	Total	Sudeste	6 projetos		57,1	194,3	
Sul	SC	Itajaí Biogás Energia	Itajaí	04/2014	1	7,5	CELESC
	RS	Biotérmica Recreio	Minas Leão	06/2015	8,5	28,7	Desconhecido
	Total	Sul			9,5	36,2	
Nordeste	BA	Termoverde Salvador	Salvador	01/2011	19,7	50	COELBA
		Total do Brasil			86,3	280,5	

Fonte: AMFRI (2014); ANEEL (2015a); Agência Envolverde, Jornalismo e Sustentabilidade (2014); FEAM (2014); GAUCHAZH (2014); FloripaNews (2014); Turioni (2014); Brasil (2014, 2015); Muyaert (2000); NARUC (2012); Santo (2013); Silva (2006); Solvi Soluções para a Vida (2011).

CTR: Central de Tratamento de Resíduos; CEMIG: Companhia Energética de Minas Gerais; CPFL: Companhia Piratininga de Força e Luz; CELESC: Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.; COELBA: Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia).

de Janeiro, no antigo lixão do Caju, que foi operado de 1935 a 1977 (42 anos), acumulando cerca de 30 milhões de metros cúbicos de RSU em uma área de um milhão de metros quadrados. O sistema foi implantado pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Estado do Rio de Janeiro (COMLURB), que recuperou cerca de 20 milhões de metros cúbicos de biogás, injetando-o na rede de gás natural da Companhia Estadual de Gás do Rio de Janeiro (CEG). Em 1980, passou a abastecer parte da frota da COMLURB (MUYLAERT, 2000).

Posteriormente, somente em 2014, surgiram duas outras iniciativas para produzir biometano, também localizadas no Estado do Rio de Janeiro, provavelmente em decorrência da Política Estadual de Gás Natural Renovável (GNR), que obriga as concessionárias de distribuição de gás canalizado a adquirirem, de forma compulsória, todo o GNR produzido no Estado, até o limite de 10% do volume de gás natural convencional (AGENERSA, 2012). A primeira a entrar em operação foi a Usina de Gás Verde Gramacho e, em seguida, a Usina de Tratamento de Biogás Dois Arcos, conforme mostra a Tabela 6.

A Usina de Gás Verde Gramacho, operada pela Gás Verde S.A., iniciou suas atividades em maio de 2014, enviando diariamente cerca de 49 mil metros cúbicos de biometano à Refinaria Duque de Caxias (REDUC), da Petrobras. O investimento para a implantação do sistema de purificação do biogás e transporte foi de R\$ 90 milhões (Petronotícias, 2014). Ela aproveita o biogás gerado no aterro Metropolitano de Gramacho, considerado o maior aterro de resíduos da América Latina, que funcionou de 1978 a 2012, acumulando 80 milhões de toneladas de RSU em uma área de um milhão de metros quadrados de manguezal (RIO DE JANEIRO, 2014).

A Usina de Tratamento de Biogás Dois Arcos, operada pelas empresas OSAFI e Ecometano, produz em média oito mil metros cúbicos diários de biometano, que são enviados à Rede de Supermercados Guanabara, em Itaguaí (RJ). Há previsão de ampliação do sistema, que proporcionará a produção de 15 mil metros cúbicos (SBERA, 2015), os quais serão injetados na rede da Companhia Estadual de Gás do Rio de Janeiro (CEG-Rio) (EcoDebate, 2015). Ela explora o biogás gerado no aterro sanitário Dois Arcos, que funciona desde 2008, e dispõe em média 700 t/dia de RSU (FEEMA, 2009).

PROJETOS IMPLANTADOS QUE UTILIZAM BIOGÁS PARA EVAPORAÇÃO DE LIXIVIADO

Os projetos que utilizam o biogás para a evaporação de lixiviado consistem na captura e queima do biogás, o qual, devido a sua alta temperatura, possibilita a evaporação da água (oxidação térmica) e a remoção das substâncias voláteis contidas no lixiviado gerado nos aterros sanitários.

O primeiro projeto foi instalado em 2001, no aterro sanitário de Tremembé (SP), que possui capacidade para tratar diariamente até 19 metros cúbicos de lixiviado (BRASIL, 2015). Posteriormente, no Rio Grande do Sul, foram implantados dois projetos, que tratam, cada um, 24 metros cúbicos diários do lixiviado. O primeiro, em 2008, no aterro sanitário da CTR da Caturrita, em Santa Maria, e o segundo, em 2011, no aterro da CTR Giruá, em Giruá (Rosa, 2014).

POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NOS ATERROS DE RESÍDUOS NO BRASIL

Os principais estudos realizados no País sobre o potencial de geração de energia elétrica nos aterros de resíduos foram impulsionados pela criação do MDL, registrando projetos que visam reduzir os GEE.

O primeiro, denominado de *Estudo do potencial da geração de energia renovável proveniente dos aterros sanitários nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil*, foi desenvolvido entre 2001 e 2004, por meio do Convênio Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ) e Ministério do Meio Ambiente. Envolveu 108 municípios com população superior a 200 mil habitantes, sendo que 92 são integrantes de regiões metropolitanas. O potencial foi estimado utilizando o programa *Landfill Gas Emissions Model* (LANDGEM), desenvolvido pela *Environmental Protection Agency* (EPA) para avaliar as emissões dos GEE (BRASIL, 2004). Esse projeto utiliza informações relativas aos RSU quanto a: composição (% de matéria orgânica), volume diário disposto e idade de aterramento (ABRELPE, 2012). Para 2015, foi estimado o potencial máximo de 440 MW (denominado de “otimista”) (BRASIL, 2004), que deve ser reavaliado. O modelo adotado não considera as condições técnicas e operacionais dos aterros de resíduos, bem como envolveu somente os aterros de resíduos que atendiam a municípios de médio a grande porte (superior a 200 mil habitantes), não incluindo as soluções

Tabela 6 - Usinas de aproveitamento do biogás para geração de biometano implantadas no Brasil.

UF	Usinas de biometano	Município	Início da operação	Volume produzido (m³/dia)	Custo (milhões de R\$)	Uso
RJ	Verde Gramacho	Duque de Caxias	05/14	49000	90	REDUC
RJ	Dois Arcos	São Pedro da Aldeia	08/14	8.000	Desconhecido	Supermercados. Guanabara

Fonte: PetroNotícias (2014); SBERA (2015).

REDUC: Refinaria Duque de Caxias (Petrobras).

compartilhadas de disposição de RSU em aterros sanitários localizados em cidades menores, comuns na atualidade.

Posteriormente, em 2007, o Ministério Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) publicou o Plano Nacional de Energia 2030, que estabelece, para os anos de 2020 e 2030, os potenciais de 1.700 e 2.600 MW, respectivamente (EPE, 2007). A projeção para 2020, fundamentada também em metodologia norte-americana, foi estimada em função do volume diário disposto (adotando a geração *per capita* de 0,54 kg/dia) e da composição dos RSU (47,5% de matéria orgânica). No entanto, se considerarmos dados da ABRELPE (2015), esses valores correspondem a 1,07 kg/dia e 52%, respectivamente. A projeção para 2030 considerou o crescimento da economia nacional e a maior distribuição da renda entre a população brasileira e o consequente aumento da produção e alteração da composição dos RSU (EPE, 2007).

Nota-se que ambos os métodos norte-americanos adotados não consideram as características operacionais dos aterros de resíduos, que são essenciais à realidade nacional, visto que cerca de 42% dos RSU gerados no Brasil são dispostos de forma inadequada (lixões e aterros controlados).

A diferença significativa do potencial estimado entre o Plano Nacional de Energia para 2020 (1.700 MW) e do Ministério do Meio Ambiente (MMA) (440 MW) provavelmente está relacionada ao número elevado de habitantes considerado no primeiro caso, isto é, toda a população brasileira. No entanto, cerca de 94% dos municípios e 45% do contingente populacional estão concentrados em cidades que possuem população inferior a 100 mil habitantes, que dispõem seus RSU geralmente de forma inadequada, não favorecendo assim o aproveitamento energético do biogás desses aterros.

Finalmente, o *Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético*, publicado em 2012, indica o potencial total de 536 MW, correspondente à somatória dos potenciais dos projetos de MDL (254 MW) e da estimativa realizada pela ABRELPE (282 MW) (ABRELPE, 2012). Em ambos os casos, foi aplicada a metodologia do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), usualmente utilizada em estudos de inventários de emissões de GEE, que, dentre outros parâmetros, considera a quantidade e composição dos RSU, as médias anuais de precipitação e temperatura da área do aterro e a qualidade operacional dos aterros.

A Figura 5 apresenta os potenciais estimados de geração de energia elétrica estabelecidos pelos estudos realizados e descritos anteriormente.

Considerando as diferentes estimativas dos potenciais de geração de energia elétrica nos aterros de resíduos do País e a potência instalada de 86,3 MW nas 9 usinas termelétricas implantadas, têm-se basicamente dois cenários: um mais otimista e realista, no qual o país explora 16% do seu potencial (ABRELPE, 2012), e outro mais pessimista, em que somente 5,1% desse potencial é explorado (EPE, 2007), conforme se verifica na Figura 6.

CONCLUSÕES

O Brasil possui um potencial considerável de aproveitamento do biogás para geração de energia elétrica ou biometano em seus diversos aterros sanitários, se considerarmos o volume expressivo de RSU gerado (219 mil t/dia) e a alta porcentagem de matéria orgânica (52%) contida nestes. No entanto, o levantamento realizado no presente estudo mostra que esse potencial estimado ainda é controverso, provavelmente em decorrência do uso de metodologias de avaliação distintas, da utilização de dados desatualizados em relação à quantidade e à composição dos RSU e da indisponibilidade de informações técnicas e ambientais dos aterros de resíduos existentes.

Com exceção do método do IPCC, os demais utilizam informações válidas para avaliar o potencial dos aterros sanitários estadunidenses, não contemplando as condições operacionais e o clima dos locais de

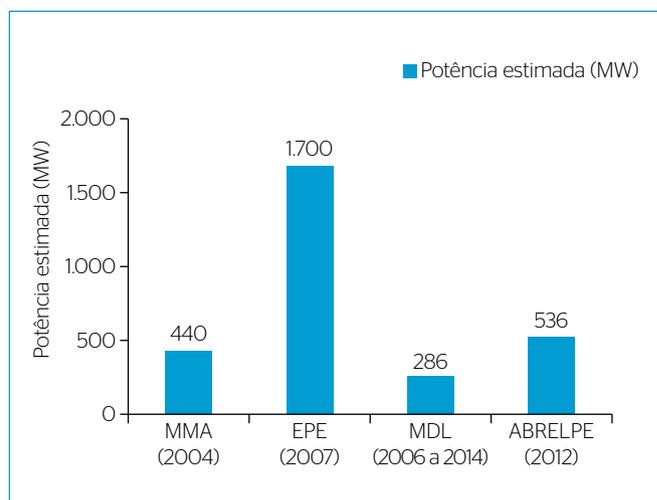


Figura 5 - Potenciais estimados de geração de energia elétrica através do aproveitamento de biogás nos aterros de resíduos do Brasil.

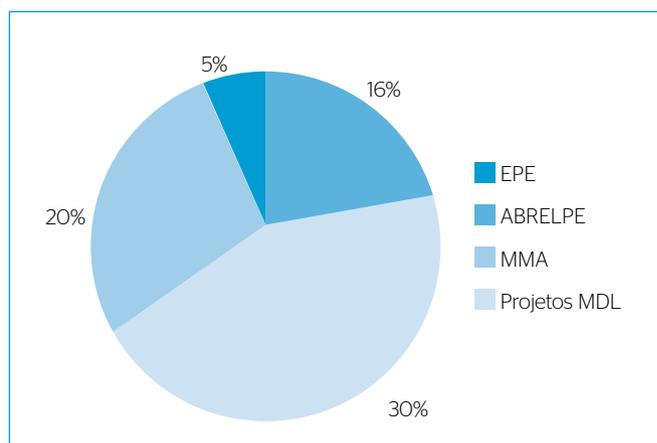


Figura 6 - Relação (%) entre a energia elétrica gerada nas termelétricas implantadas no Brasil e o potencial estimado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) x Projetos Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) x Ministério do Meio Ambiente (MMA) x Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

disposição final dos resíduos, consideradas informações relevantes no caso dos aterros brasileiros.

Portanto, o país ainda não conhece o seu potencial de geração de energia elétrica por meio de seus recursos renováveis no caso específico da biomassa contida nos RSU e, conseqüentemente, aproveita pouco o biogás gerado nos seus aterros.

Por outro lado, o atual cenário das mudanças climáticas mostra a urgente necessidade de as autoridades nacionais colocarem em pauta a busca de soluções que visem diminuir a emissão dos GEE e a dependência da utilização de combustíveis fósseis e não renováveis, incentivando a exploração de fontes alternativas de energia renováveis, no caso o aproveitamento do biogás produzido nos diversos aterros de RSU do Brasil.

Para tal, é fundamental o conhecimento do potencial energético dos aterros de resíduos no País e ainda a concretização de incentivos fiscais e financeiros à criação de consórcios públicos para a disposição compartilhada dos RSU, principalmente entre municípios de pequeno porte (até 50 mil habitantes), a fim de proporcionar maior volume de

resíduos aterrados e o conseqüente aproveitamento de biogás para geração de energia elétrica e biometano.

FONTE DE FINANCIAMENTO

Petrobras, Agência Nacional de Energia Elétrica.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido com o apoio da Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo (FESPSP) e financiado pela empresa Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) por meio do projeto “Estudo da Geração em Ciclo Combinado a partir de Biogás e Resíduos Sólidos”, integrante da Chamada 14 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que se refere a Pesquisa & Desenvolvimento Estratégico na área de biogás a partir de resíduos sólidos. Agradecemos aos relatores da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) pelas sugestões e revisões do manuscrito do presente artigo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ENVOLVERDE, JORNALISMO E SUSTENTABILIDADE. (2014) Nova usina de biogás transformará lixo de 20 municípios em energia. *Agência Envolverde, Jornalismo e Sustentabilidade*, São Paulo. Disponível em: <<http://www.envolverde.com.br/ambiente/nova-usina-de-biogas-transformara-lixo-de-20-municipios-em-energia/>>. Acesso em: 2015.

AGÊNCIA REGULADORA DE ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (AGENERSA). (2012) *Lei nº 6.361, de 19 de dezembro de 2012*. Dispõe sobre a Política Estadual de Gás Natural Renovável GNR. Rio de Janeiro: AGENERSA. Disponível em: <<https://gov.rj.jusbrasil.com.br/legislacao/1033645/lei-6361-12>>. Acesso em: maio 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS (ABRELPE). (2012) *Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos*. São Paulo: ABRELPE. 109 p.

_____. (2015) *Panorama de Resíduos Sólidos, Brasil*. São Paulo: ABRELPE.

ASSOCIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DA FOZ DO RIO ITAJAÍ (AMFRI). (2014) *PMGIRS, Produto 4: Diagnóstico dos Resíduos Sólidos do Município: Itajaí, SC*. Itajaí: AMFRI. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: jun. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). (2015a) *Capacidade de geração do Brasil*. Brasília: aneel. Disponível

em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/CombustivelListaUsinas.asp?classe=Biomassa&combustivel=19&fase=3>>. Acesso em: dez. 2015.

_____. (2015b) *Matriz de energia elétrica*. Banco de Informações de Geração (BIG). Brasília: aneel. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: nov. 2015.

BARIN, A. (2012) *Seleção de sistemas de geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos: uma abordagem com a lógica difusa*. Tese (Doutorado em Energia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=4583>. Acesso em: mar. 2015.

BRASIL. (2002) *Lei Federal nº 10.438*. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), e dá outras providências. Brasília. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10438.htm>. Acesso em: abr. 2017.

_____. (2004) Ministério do Meio Ambiente. *Estudo do potencial da geração de energia renovável proveniente dos “aterros sanitários” nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil*. Convênio FEALQ. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/documentos/texto/-aba-hrefcepea-mmaphpdestaque-estudo-do-potencial-da-geracao-de-energia-renovavel-proveniente-dos-aterros-sanitarios-nas-regioes-metropolitanas-e-grandes-cidades-do-brasil-a-b.aspx>>. Acesso em: abr. 2015.

_____. (2014) Ministério de Minas e Energia. *Portaria nº 200*. Brasília: Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1154459/Portaria_SPE_n_200-2014.pdf/302fe021-15d1-4746-9758-d169c41cd12c>. Acesso em: jun. 2015.

_____. (2015) Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Atividades de Projetos MDL Aprovados nos Termos da Resolução nº 1*. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Disponível em: <https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/mecanismo_de_desenvolvimento_limpo/Mecanismo_de_Desenvolvimento_Limpo.html>. Acesso em: jun. 2015.

CENTER ON ENERGY, CLIMATE AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT (CD4CDM). (2013) *Pipeline overview*. Estados Unidos: CD4CDM. Disponível em: <<http://cdmpipeline.org/>>. Acesso em: maio 2015.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). (2009) *Inventário Estadual de Resíduos Urbanos*. São Paulo: CETESB. Disponível em: <<http://autenticidade.cetesb.sp.gov.br/pdf/02520002350117042009.pdf>>. Acesso em: maio 2015.

COMPANHIA RIOGRANDENSE DE VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS (CRVR). (2013) *Central de Tratamento de Resíduos de Giruá*. Giruá: CRVR. Disponível em: <<http://www.crvr.com.br/UnidadeGirua.html>>. Acesso em: jun. 2015.

ECODEBATE. (2015) RJ recebe o primeiro ônibus movido a biometano gerado a partir de lixo. *EcoDebate*, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ecodebate.com.br/2015/03/13/rj-recebe-o-primeiro-onibus-movido-a-biometano-gerado-a-partir-de-lixo/>>. Acesso em: maio 2015.

ECODESENVOLVIMENTO. (2015) Gases de efeito estufa bateram recordes em 2014, alerta relatório. *Ecodesenvolvimento*, Salvador. Disponível em: <<http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2015/julho/gases-de-efeito-estufa-bateram-records-em-2014?tag=clima>>. Acesso em: ago. 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). (2007) *Plano Nacional de Energia 2030*. Brasília: Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>>. Acesso em: 2015.

_____. (2015) *Balanco Energético Nacional 2015, Ano Base 2014*. Brasília: Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2015>>. Acesso em: out. 2015.

FLORIPANEWS. (2014) Transformação de lixo em Energia elétrica já é realidade em SC. *FloripaNews*, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.floripanews.com.br/noticia/5200-transformacao-de-lixo-em-energia-eletrica-ja-e-realidade-em-sc>>. Acesso em: abr. 2015.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (FEAM). (2009) *Análise de pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de um sistema de aproveitamento energético de biogás em um aterro sanitário existente no estado de Minas Gerais*. Relatório 1. Belo Horizonte: FEAM. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/fean/parte_1.pdf>. Acesso em: abr. 2017.

_____. (2014) *Potencial de energias renováveis-biomassa, resíduos e hidroeletricidade*. Belo Horizonte: FEAM. v. 2. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/EnergiaMudancasClimaticas/Publicacoes2014/pemc_potencial_er_vol_ii_v1.O_15_04_2014.pdf>. Acesso em: jun. 2015.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE (FEEMA). (2009) *Licença de Operação nº FE013200*. Rio de Janeiro: FEEMA. Disponível em: <http://www.doisarcos.com.br/doisarcos_lo.pdf>. Acesso em: abr. 2015.

GAUCHAZH Últimas Notícias. (2014). Maior aterro sanitário do sul do País recebe 90 mil toneladas por mês de lixo. Porto Alegre. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/noticia/2014/10/major-aterro-sanitario-do-sul-do-pais-recebe-90-mil-toneladas-por-mes-de-lixo-cj5vqd3njOpaOxbjO1kttbsb17.html>. Acesso em: abr. 2016.

GOVERNO LOCAIS PELA SUSTENTABILIDADE (ICLEI). (2009) *Manual para aproveitamento de biogás, aterros sanitários*. São Paulo: ICLEI. v. 1. Disponível em: <www.resol.com.br/cartilha12/manual_iclei_brazil.pdf>. Acesso em: abr. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2010). *Censo Demográfico 2010*. Rio de Janeiro: IBGE.

_____. (2011) *Sinopse do Censo Demográfico 2010*. Rio de Janeiro: IBGE.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (1996) *Guia para inventários nacionais de gases de efeito estufa*. Módulo 6: Lixo. Estados Unidos: IPCC. v. 2. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html>>. Acesso em: jun. 2015.

_____. (2014) *Climate Change 2014*. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Genebra: IPCC. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>>. Acesso em: out. 2017.

JUIZ DE FORA. (2013) *Plano de Saneamento Básico de Juiz de Fora, MG*. Etapa I, Diagnóstico. Juiz de Fora: Prefeitura. Disponível em: <http://www.planodesaneamento.pjf.mg.gov.br/pdf/apostila_conferencia_i.pdf>. Acesso em: jun. 2015.

MUYLAERT, M.S. (2000) *Consumo de energia e aquecimento do planeta*. Análise do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo MDL do Protocolo de Quioto - Estudos de Caso. Rio de Janeiro: Editora da Coppe.

NATIONAL ASSOCIATION OF REGULATORY UTILITY COMMISSIONERS (NARUC). (2012) *Aproveitamento de gás de aterro sanitário no Brasil e sua regulação*. Washington, DC.: NARUC.

PECORA, V.G.; VELÁZQUEZ, S.M.S.G.; COELHO, S.T. (2010) Aproveitamento de biogás proveniente de aterro sanitário para geração de energia elétrica em São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 7, São Paulo. *Anais...* São Paulo: USP, p. 1249-1261.

- PEDOTT, J.G.J.; AGUIAR, A.O. (2014) Biogás em aterros sanitários: comparando a geração estimada com a quantidade verificada em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. *Holos*, v. 4, p. 195-211. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/1715/pdf_63>. Acesso em: maio 2015.
- PETRONOTÍCIAS. (2014) Gás extraído de aterro sanitário passa a ser consumido pela Reduc. *PetroNotícias*, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.petronoticias.com.br/archives/52304>>. Acesso em: mar. 2015.
- REICHERT, G.A. (2014) Painel 4 - Tecnologias apropriadas para o tratamento dos resíduos sólidos. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, DESAFIOS PARA IMPLANTAÇÃO DA POLÍTICA NACIONAL, 11., ABES. Brasília: ABES. Disponível em: <http://www.abes-df.org.br/upload/estudo/2014_08_19/41-geral-do-reichert-tecnologias.pdf>. Acesso em: abr. 2015.
- RIO DE JANEIRO. (2014) Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio de Janeiro. *Diagnóstico dos Resíduos Sólidos*. Rio de Janeiro: Secretaria de Estado do Meio Ambiente. v. 2, tomo I. Disponível em: <<http://www.rj.gov.br/web/sea/exibeconteudo?article-id=1941406>>. Acesso em: jun. 2015.
- ROSA, A.L. (2014) Aproveitamento energético do biogás a partir de RSU: desafios tecnológicos e regulatórios". In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, DESAFIOS PARA IMPLANTAÇÃO DA POLÍTICA NACIONAL, 11., ABES. Brasília: ABES. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/51676712-Aproveitamento-energetico-do-biogas-a-partir-de-rsu-desafios-tecnologicos-e-regulatorios.html>>. Acesso em: maio 2015.
- SANTO, F.E. (2013) *Estimativa do aproveitamento energético do biogás gerado por resíduos sólidos urbanos no Brasil*. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SÃO PAULO. (2008) *Usina termelétrica aproveitará gás do aterro São João*. São Paulo: Secretaria Executiva de Comunicação. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/comunicacao/noticias/?p=124137>>. Acesso em: maio 2015.
- SILVA, T.N. (2006) *Diagnóstico da produção de biogás de um aterro sanitário: estudo de caso no aterro Bandeirantes*. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DOS ESPECIALISTAS EM RESÍDUOS DAS PRODUÇÕES AGROPECUÁRIA E AGROINDUSTRIAL (SBERA). (2015) *ABNT deve definir neste mês norma para biometano*. Concórdia. Disponível em: <<http://sbera.org.br/pt/2015/07/abnt-deve-definir-neste-mes-norma-para-biometano/>>. Acesso em: jun. 2015.
- SOLVI SOLUÇÕES PARA A VIDA. (2011) Energia a partir do biogás. *Solvi Soluções para a Vida*, São Paulo, n. 15, p. 8. Disponível em: <<http://www.solvi.com/wp-content/uploads/2015/03/revista-solvi-15-pt.pdf>>. Acesso em: jul. 2015.
- TURIONI, F. (2014) Entra em operação 1ª usina do interior de SP a gerar energia à partir do lixo. *G1*, Ribeirão Preto, Franca, Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/ribeirao-preto-franca/noticia/2014/08/entra-em-operacao-1-usina-do-interior-de-sp-gerar-energia-partir-do-lixo.html>>. Acesso em: maio 2015.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). (2015) *Project Search*. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>>. Acesso em: jun. 2015.