

ÁREA TEMÁTICA: Recuperação de Materiais e Energia

## PROPOSIÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO E UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS ORIUNDO DE ATERROS SANITÁRIOS

*Ariéli Luísa Couto (arielicouto@gmail.com), Cristiano Pereira Sacilotto (cristiano.p.sacilotto@gmail.com)*

*Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS*

### RESUMO

Atualmente o Brasil está utilizando progressivamente o aterro sanitário como método de tratamento para os resíduos sólidos urbanos gerados pela população. Contudo, o aterro sanitário concebe dois subprodutos, o lixiviado e o biogás. O biogás é um gás constituído basicamente de dióxido de carbono e metano, que pode ser utilizado em substituição aos combustíveis fósseis, mas para este fim, é necessário captá-lo do aterro sanitário e tratá-lo, ou seja, é necessário acrescer o percentual de metano em sua composição.

O presente trabalho expõe uma análise das propriedades comumente encontradas no biogás captado e quais os componentes devem ser removidos do composto conforme o aproveitamento energético do biogás. Com estes dados é possível determinar a planta de tratamento necessária para o composto e o seu potencial econômico, resultado da quantificação da potência térmica do biogás bruto referente ao biogás tratado, viabilizando a mensuração do melhor cenário para a venda do biogás tratado. Para este fim, foi considerado o poder calorífico de 1m<sup>3</sup> de biogás bruto com 50% de metano e 50% de dióxido de carbono e 1m<sup>3</sup> de biogás tratado, com 98% de metano e 2% de dióxido de carbono, composição esta que pode ser utilizada inclusive em substituição do gás natural. Como consequência, o valor despendido para o tratamento do biogás não deve ultrapassar o valor adquirido com venda da diferença entre as potências térmicas, quantificada em 19.080 kW.

**Palavras-chave:** Aterro sanitário; biogás; tratamento.

## PROPOSITION OF BIOGAS TREATMENT AND USE SYSTEMS FROM SANITARY LANDFILLS

### ABSTRACT

Currently, Brazil is progressively using the landfill as a treatment method for urban solid waste generated by the population. However, the landfill produces two by-products, leachate, and biogas. Biogas is a gas composed of carbon dioxide and methane which can be used to replace fossil fuels. For this, it is necessary to capture it from the landfill and treat it, (i.e., it is necessary to increase the percentage of methane in its composition).

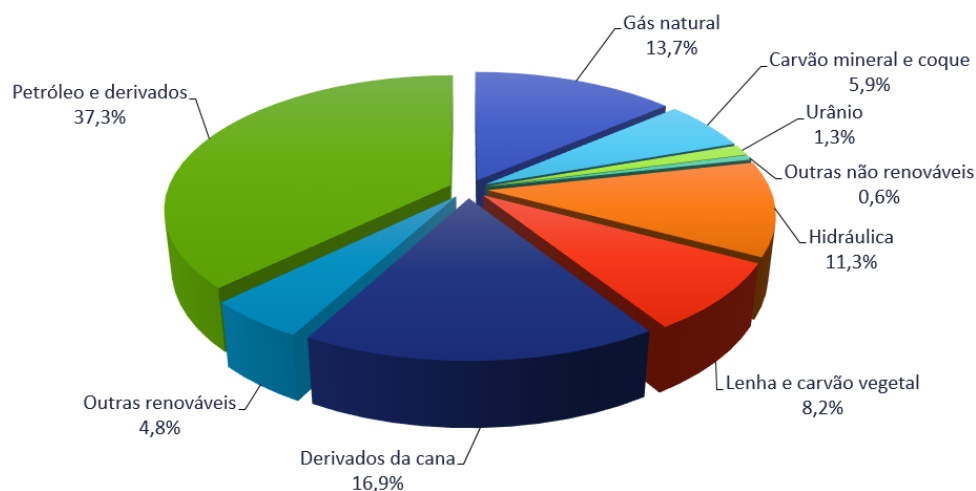
The present work displays an analysis of the properties commonly found in the biogas captured and which components must be removed from the compost according to the biogas energy use. With the data, it is possible to determine the treatment plant required for the compost and its economic potential (resulting from the quantification of the thermal power of the raw biogas relating to the treated biogas), enabling the measurement of the best scenario for the sale of the treated biogas. For this purpose, the calorific value of 1m<sup>3</sup> of crude biogas with 50% methane and 50% carbon dioxide and 1m<sup>3</sup> of treated biogas, with 98% methane and 2% carbon dioxide was considered, a composition that can be even used to replace natural gas. As a result, the amount spent on the treatment of biogas should not exceed the value acquired with the sale of the difference between thermal powers, quantified at 19,080 kW.

**Keywords:** Landfill; biogas; treatment.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a matriz energética brasileira (Gráfico 1) é constituída por aproximadamente 41,2% de energias renováveis, devido ao usufruto da energia hidráulica e aos produtos derivados da cana de açúcar, como o etanol. (BRASIL, 2016).

Gráfico 1 - Matriz energética brasileira



Fonte: Adaptado de Brasil (2016, p. 24).

No entanto, a grande maioria das tais energias são dependentes das condições climáticas. Assim, uma diversificação das fontes de energia é de vital importância para a segurança energética do Brasil. (PROBIOGÁS, 2016).

Uma das alternativas para a diversificação das fontes energéticas brasileiras é o biogás, que segundo os estudos da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Brasil possui um potencial teórico de produção de biogás de aproximadamente 4,3 milhões de m<sup>3</sup>/dia derivados dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), 47,8 milhões de m<sup>3</sup>/dia a partir de resíduos agrícolas, 35,4 milhões de m<sup>3</sup>/dia resultantes de resíduos agropecuários e 13,8 milhões de m<sup>3</sup>/dia oriundos de vinhaça. O somatório do potencial teórico de produção de biogás é de 101,3 milhões de m<sup>3</sup>/dia, quase o dobro do atual consumo de gás natural no Brasil (58 milhões de m<sup>3</sup>/dia em 2015). (PROBIOGÁS, 2016).

## 2. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é propor metodologias de tratamento do biogás gerado como subproduto da disposição dos resíduos sólidos em aterros sanitários, com a finalidade de utilizar seu potencial energético.

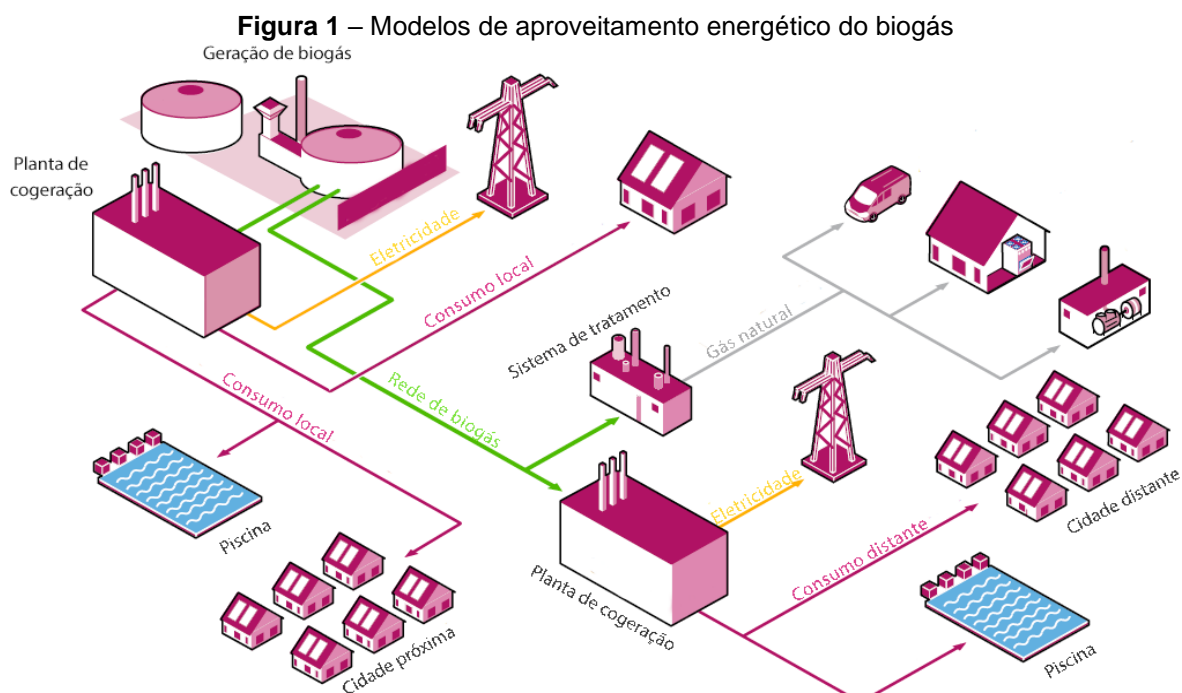
## 3. METODOLOGIA

O presente trabalho contempla uma pesquisa qualitativa sobre as modalidades de tratamento do biogás originado em aterros sanitários, relacionando-as diretamente com o aproveitamento energético almejado do biogás. Consecutivamente, com base nesta pesquisa é possível estimar a planta de tratamento do composto e o seu valor comercial, conforme a diferença da potência térmica entre o biogás tratado e o biogás bruto.

### 3.1 Aproveitamento energético

O modelo de aproveitamento do biogás oriundo de aterros sanitários na sua forma bruta mais monetariamente atrativo e por consequência mais exercido, é utilizá-lo como combustível para a geração de calor ou energia elétrica. Ao ser inserido em um motor de combustão interna aproximadamente 70% do biogás é convertido em calor e 30% em eletricidade. (KARLSSON, 2014). Esse fato ocorre devido a utilização de geradores acionados por motores à combustão, denominados de motores de cogeração a gás. (PROBIOGÁS, 2010). A capacidade das usinas de

cogeração que utilizam o biogás originário de aterro sanitário (AS) sem tratamento, variam de 100 kW até 2,0 MW. A aplicação de módulos menores é mais vantajosa devido a maior flexibilidade de ajuste com o fluxo de geração do biogás. (PROBIOGÁS, 2015c). Contudo, o gás de aterro possui inúmeras aplicações e a Figura 1 demonstra as principais modalidades atualmente utilizadas.



Fonte: Adaptado de German Biogas Association. (2015, p. 12)

### 3.2 Composição do biogás

O biogás é uma mistura de gases constituído essencialmente de dióxido de carbono e metano em proporções variadas, conforme a composição do substrato confinado no AS. (LIMA, 2004). Como apresenta a Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição média do biogás

Componente	Composição
Metano (CH <sub>4</sub> )	50% - 75% em vol.
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	25% - 45% em vol.
Água (H <sub>2</sub> O)	2% - 7% em vol.
Sulfeto de hidrogênio (H <sub>2</sub> S)	20 – 20.000 ppm
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	< 2% em vol.
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	< 2% em vol.
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	< 2% em vol.

Fonte: BMELV (2010)

Cada biogás possui um poder calorífico diferente, pois ele varia conforme a porcentagem de metano na sua composição, ou seja, quanto maior a quantidade de metano, maior o seu poder calorífico. (MAGALHÃES, 1986). Quando a proporção de metano for de 60%, o poder calorífico do biogás é de aproximadamente 5.500kcal/m<sup>3</sup>. (PROSAB, 2003). No entanto, se o biogás for purificado, ou

seja, constituído essencialmente de metano, o seu potencial energético eleva consideravelmente. (KARLSSON, 2014). Nesse caso, o biogás é conceituado como um excelente combustível, podendo substituir algumas fontes energéticas, tais como: Gás Natural (GN), Gás Liquefeito do Petróleo (GLP), gasolina, ou até mesmo o diesel.

O processo de purificação do biogás é realizado conforme as substâncias contidas no biogás e a tecnologia de aproveitamento energético a ser utilizada. Uma vez que as usinas de cogeração definem padrões mínimos de qualidade das propriedades dos gases combustíveis utilizados, a fim de evitar danos aos motores e manutenções mais frequentes, além de garantir um poder calorífico adequado. (PROBIOGÁS, 2010). A Tabela 2 apresenta os principais contaminantes e seus respectivos impactos.

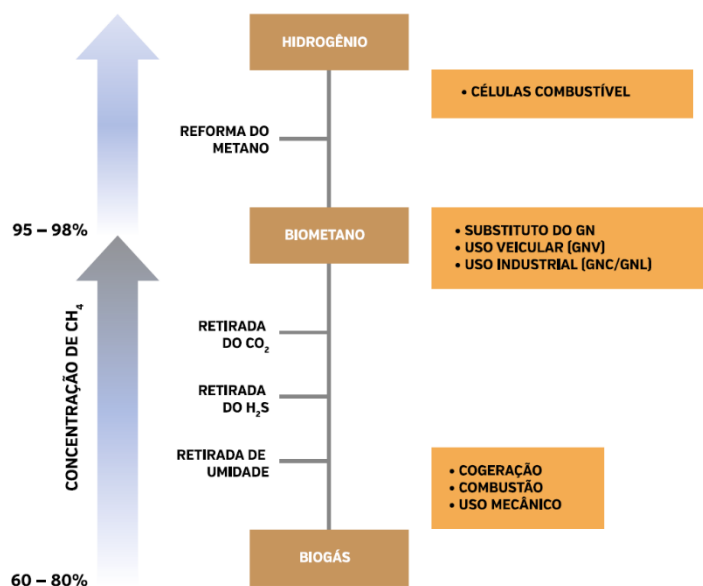
**Tabela 2 - Contaminantes e seus respectivos impactos**

<b>Compostos</b>	<b>Impacto</b>
Água (H <sub>2</sub> O)	Corrosão em equipamentos, rede e tanques; Acumulação e condensação.
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Diminuição do poder calorífico.
Enxofre	Corrosão em equipamentos, rede e tanques; Emissão de óxidos na combustão e toxicidade.
Siloxanos	Formação de SiO <sub>2</sub> e micro cristais.
Halógenos	Corrosão.
Amônia	Corrosão.
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	Aumento da explosividade.

Fonte: Adaptado de EPE (2014, p. 28)

A injeção do biogás processado como gás adicional na rede de gás natural, requer a remoção do dióxido de carbono, dessulfurização, secagem do gás, odorização, remoção de partículas sólidas e eventualmente, um ajuste do poder calorífico e da pressão. Conforme ilustrado na Figura 2, o biogás processado a qualidade de gás natural é denominado como biometano. (PROBIOGÁS, 2015a). Contudo, regularmente não é necessário realizar todos os processos de tratamento para a utilização do biogás como gerador de calor ou energia elétrica. (EPA, 2012).

Figura 2 - Purificação do biogás e alternativas de utilização



Fonte: PROBIOGÁS (2015a, p. 86).

### 3.3 Remoção de Siloxanos

O termo siloxanos refere-se a cadeias de átomos alternados de silício e oxigênio, que são habitualmente combinados com carbono e/ou hidrogênio. (ACCETTOLA; GUEBITZ; SCHOEFTNER, 2008). Durante o processo de digestão anaeróbia dos RSU no interior do AS, os siloxanos não se decompõem, ou seja, eles são volatilizados e transferidos para o biogás, ocasionando a formação de sílica microcristalina, que detém propriedades do vidro em alta temperatura. Conseqüentemente, as formações destes cristais são prejudiciais aos componentes de purificação e transporte do biogás. (ACCETTOLA; GUEBITZ; SCHOEFTNER, 2008).

Nos dias que ocorrem, há quatro métodos para a remoção de siloxanos. (BIOFUELS BIOPRODUCTS AND BIOREFINING (BIOFPR), 2008). A Tabela 3 demonstra as principais características de cada procedimento.

Tabela 3 – Características dos processos de remoção de siloxanos

Método	Princípio de ação	Remoção	Outros dados
Absorção reativa com líquidos (redução química).	Quebra da ligação Si-O pela catalização de ácidos fortes e álcalis.;	De 75 à 100%	Viabilidade técnica e econômica questionáveis
Absorção em peneiras moleculares.	Retenção dos siloxanos em peneiras moleculares.	De 31 à 75%	A capacidade de retenção depende do tipo de siloxanos.
Absorção por solventes	Solubiliza os siloxanos em solventes com pontos de ebulição elevado.	Até 97%	Não é economicamente viável para pequenos volumes de biogás.
Condensação criogênica	Expôr o biogás a uma temperatura de -70°C.	Acima de 99%	Na temperatura de -29°C, é possível remover 50% dos siloxanos.

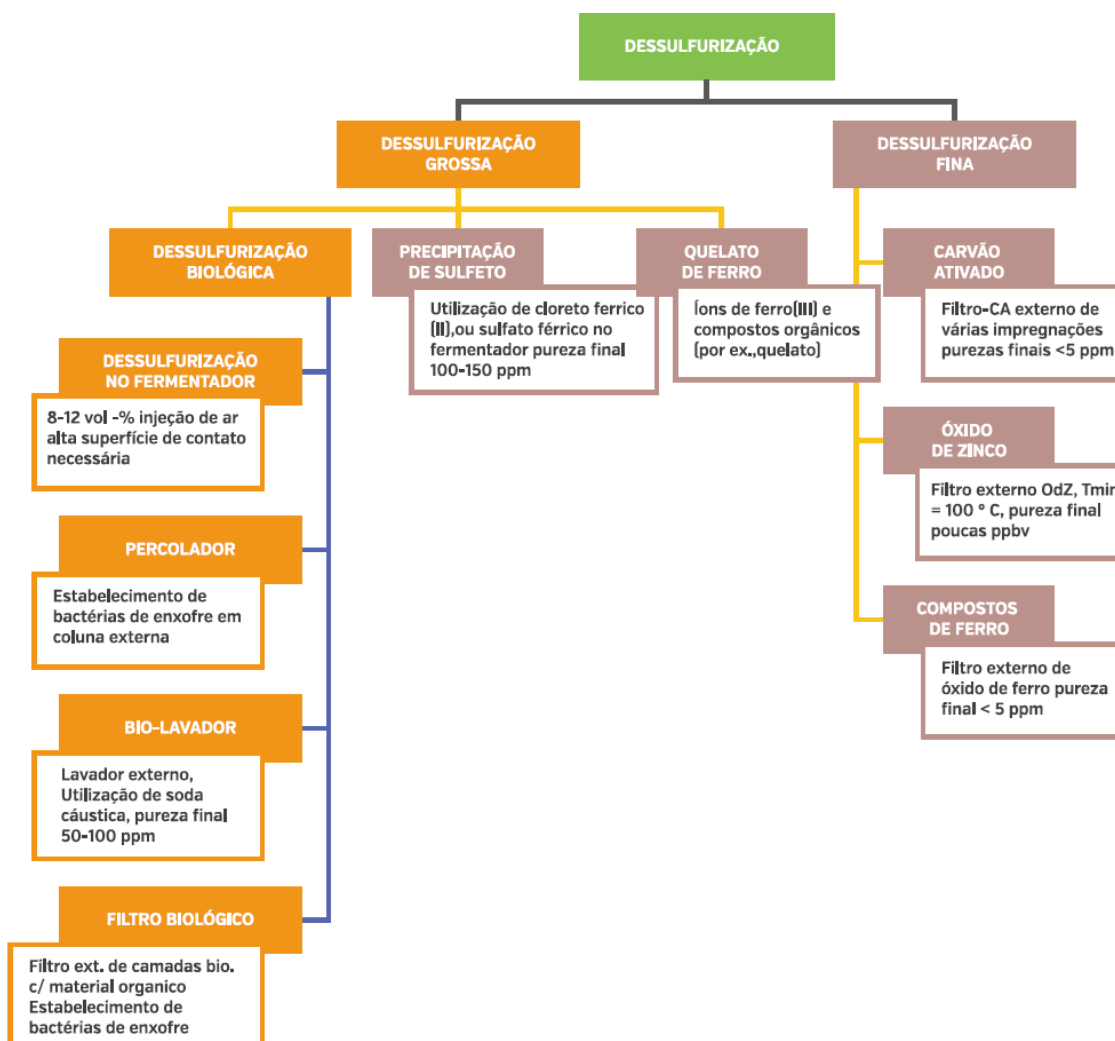
Fonte: Adaptado de BIOFPR (2008 p. 55)

### 3.4 Dessulfurização

O biogás, em sua configuração bruta, é saturado de vapor e água e além do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e do metano (CH<sub>4</sub>), possui quantidades expressivas de sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), entre outras substâncias. A incorporação do gás sulfídrico é um parâmetro importante na qualidade do biogás gerado, pois em pequenas concentrações o sulfeto de hidrogênio é capaz de inibir o processo de decomposição anaeróbia da matéria orgânica e ao ser combinado com vapor de água originam ácido sulfúrico, que além de tóxico, ataca os componentes instalados a jusante, tais como: motores, tubulação de gás, tubo de exaustão, etc. Os compostos de enxofre também prejudicam a eficiência do processo de eliminação do dióxido de carbono. (PROBIOGÁS, 2010).

Para realizar a dessulfurização do biogás, são utilizados três tipos de processos: biológico, químico e físico. Contudo, por razões econômicas, a remoção é realizada em duas etapas. A primeira etapa é a dessulfurização grossa, a qual elimina o sulfeto de hidrogênio em grandes quantidades e na etapa subsequente, designada dessulfurização fina, o objetivo é alcançar os baixos níveis de sulfeto de hidrogênio. A Figura 3 apresenta as tecnologias utilizadas para ambos os casos. (PROBIOGÁS, 2015a).

Figura 3 - Modelos de dessulfurização



Fonte: PROBIOGÁS (2015a, p. 88).

### 3.5 Remoção do Dióxido de Carbono

Para a utilização do biogás como gás veicular, ou para uso industrial, é necessário realizar a remoção do dióxido de carbono, com o objetivo de expandir a concentração de metano em sua composição e conseqüentemente ampliar o poder calorífico do biogás, equiparando-o aos gases provenientes de combustíveis fósseis a serem substituídos. (PROBIOGÁS, 2015c).

Na atualidade, os procedimentos mais disseminados para a remoção do dióxido de carbono são: a lavagem com água sobre pressão (DWW), a lavagem química (aminas), a adsorção com modulação de pressão (PSA) e a lavagem física (Genosorb). Esses processos diferem em termos de qualidade alcançável do gás, à tecnologia utilizada e conseqüentemente, a gestão do sistema. (PROBIOGÁS, 2015a).

Os processos de remoção do dióxido de carbono que utilizam água geralmente possuem investimento abaixo dos sistemas de tratamento químico. Contudo, os valores de manutenção são superiores. (PROBIOGÁS, 2015b). A Tabela 4, demonstra uma visão geral de cada procedimento.

**Tabela 4 – Visão geral de cada procedimento**

Tipo de separação	Processo	Princípio de ação	Teor final de metano	Outros Dados
Adsorção	Adsorção com modulação de pressão (PSA).	Adsorção com CO <sub>2</sub> em uma peneira molecular.	> 96 %	Elevado consumo de eletricidade (0,20-0,25 kWh/m <sup>3</sup> ), não exige calor, escape de metano elevado (1-5%), não utiliza processos químicos.
Absorção física	Lavagem sob pressão de água (DWW).	Solução de CO <sub>2</sub> em água em alta pressão.	> 96 %	Elevado consumo de eletricidade (0,20-0,30 kWh/m <sup>3</sup> ), não exige calor, escape de metano elevado (0,5-2%), não utiliza processos químicos.
	Processos: Selexol, Genosorb, Rectisol e Purisol.	Solução de CO <sub>2</sub> em solvente especial.	> 96 %	Elevado consumo de eletricidade (0,23-0,33 kWh/m <sup>3</sup> ), exige pouco calor, escape de metano elevado (1-4%), utiliza grande quantidade de solução de lavagem.
Absorção química	Tratamento com aminas.	Reação química de CO <sub>2</sub> com monoetanolamina, dietanolamina e outros.	> 99 %	Baixo consumo de eletricidade (0,06-0,15 kWh/m <sup>3</sup> ), exige muito calor, utiliza grande quantidade de solução de lavagem.
Absorção por membrana	Separação de gás de membrana (seco).	Permeabilidade da membrana H <sub>2</sub> S e CO <sub>2</sub> mais elevado do que CH <sub>4</sub> .	> 80 %	Elevado consumo de eletricidade (0,18-0,25 kWh/m <sup>3</sup> ), não exige calor, escape de metano elevado (2-8%), não utiliza processos químicos.
Processos criogênicos	Separação a temperaturas baixas.	Separação de fases do CO <sub>2</sub> líquido e CH <sub>4</sub> gasoso.	> 99,9 %	Elevado consumo de eletricidade (0,18-0,33 kWh/m <sup>3</sup> ), escape de metano muito baixo, não utiliza processos químicos.

Fonte: PROBIOGÁS (2015a, p. 92)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Tratamento e utilização do biogás

Conforme a pesquisa qualitativa exposta na metodologia, de acordo com o Eng<sup>o</sup> Gabriel Gomes, mestre na universidade Unisinos: “Um método eficaz de descobrir o quanto se deve gastar com o tratamento do gás de aterro, é calcular o poder calorífico do biogás sem tratamento e comparar com o poder calorífico que ele tende a chegar depois da purificação. Sendo assim, se o custo do tratamento for inferior ao ganho monetário da venda da diferença entre os gases tratados e não tratados, este investimento tende a ser positivo”.

Por essa razão, foi realizado o cálculo do poder calorífico inferior, isto é, a energia liberada em forma de calor pelo biogás bruto, considerando sua composição de 50% de metano e 50% de dióxido de carbono. Com a finalidade de comparar com o poder calorífico inferior do biogás tratado, estipulando uma composição de 98% de metano e 2% de dióxido de carbono.

Segundo Feltre (2004), para este fim, é necessário a utilização de algumas convenções básicas, como:

- 1 m<sup>3</sup> de gás é igual a 1000 litros;
- 1 mol de gás representa 22,4 litros.

Portanto, 1 m<sup>3</sup> do biogás bruto possui 500 litros (22,3214 mol) de metano e 500 litros (22,3214 mol) de dióxido de carbono. Enquanto 1 m<sup>3</sup> do biogás tratado corresponde a 980 litros (43,75 mol) de metano e 20 litros (0,8929 mol) de dióxido de carbono.

Consequentemente, a entalpia de combustão, ou seja, a energia liberada em forma de calor em relação a combustão de 1 mol de metano é equivalente a 890,4 kJ/mol. Portanto, ao multiplicar a quantidade de metano em mols do biogás bruto e do biogás tratado por 890,4 kJ/mol, é possível mensurar a energia térmica que cada biogás libera. (OLIVEIRA, 2009).

Biogás bruto: 22,3214 mol x 890,4 kJ/mol= 19.874,97 kJ

Biogás tratado: 43,75 mol x 890,4 kJ/mol= 38.955 kJ

Todavia, o dióxido de carbono não será considerado no cálculo da entalpia do biogás, por se tratar de um gás inerte na combustão. (OLIVEIRA, 2009). Desta forma, a potência térmica do biogás, considerando a vazão de 1 m<sup>3</sup>/s é equivalente a energia térmica calculada acima. Visto que, um Joule (J) por segundo, equipara-se a um Watt (W). (OLIVEIRA, 2009). Por conseguinte, a potência térmica do biogás bruto é igual a 19.874,97 kW e a potência térmica do biogás tratado é de 38.955 kW.

Considerando a metodologia supracitada do Engenheiro Químico Gabriel Gomes, o valor despendido para o tratamento do biogás estudado não deve ultrapassar o valor adquirido pela venda da diferença entre as potências térmicas. 38.955 kW – 19.874,97kW = 19.080,025 kW.

Isto é, o valor do tratamento do biogás deve ser inferior ao valor da venda de 19.080,025 kW de potência térmica. Mas é indispensável salientar que dependendo da aplicação energética do biogás haverá uma taxa de supressão da potência térmica. Como por exemplo, na utilização de cogeneradores onde tais equipamentos transformam a energia térmica em energia elétrica, perdendo neste processo um percentual da energia térmica conforme o rendimento do motor.

A quantificação do ganho monetário da utilização energética do biogás é de extrema importância para fomentar a sua aplicação. Um exemplo claro deste desenvolvimento é a Alemanha, onde o aproveitamento do biogás captado de aterros sanitários só começou a ser utilizado após a segurança de remuneração regulamentada pela lei alemã de energias renováveis, devido às questões de custo-benefício. (PROBIOGÁS, 2015a). Ou seja, a captação e utilização do biogás de aterros sanitários na Alemanha, só se tornaram viáveis devido à investimentos federais.

No Brasil a trajetória é semelhante. Apesar do Rio Grande do Sul ser um dos estados brasileiros precursores na produção e utilização do biogás ou biometano, o fomento desta produção tende a se desenvolver gradativamente devido a aprovação da Lei 14.864/2016 que apresenta o Programa

Gaúcho de Incentivo à Geração e Utilização de Biometano (RSGás). Que permite a criação de linhas de créditos especiais e tratamento tributário diferenciados para a geração de biometano (COIRO, 2016), além de auxiliar financeiramente, O Art. 7º da Lei 14.864/2016 garante que o biometano que atenda as premissas da Agência Nacional do Petróleo (ANP), poderá ser adicionado a rede de transporte ou distribuição de gás natural. Assegurando a compra do biometano produzido pela concessionária do estado, no caso, a Companhia de gás do Estado do Rio Grande do Sul (Sulgás). (RIO GRANDE DO SUL, 2016).

Portanto, é indispensável mensurar as possibilidades de utilização do biogás antes de estabelecer um destino para o mesmo. Atualmente a grande maioria do biogás captado dos aterros sanitários são destinados apenas a geração de eletricidade por motores a combustão, devido a este processo não necessitar que o biogás seja tratado. No entanto, caso o biogás seja purificado as suas formas de utilização são ampliadas e conseqüentemente algumas dessas formas de utilização podem se tornar mais viáveis economicamente do que a geração de eletricidade por motores a combustão.

## 5. CONCLUSÃO

No que tange propor um sistema de tratamento, o mesmo deve ser estipulado conforme as propriedades e a respectiva aplicação do biogás. Portanto, este trabalho pode servir como embasamento para identificar as possíveis utilizações do gás de aterro conforme cada composição e principalmente o seu “valor” como investimento monetário, além do fato de ser uma fonte energética infinita e sustentável.

Para identificar o melhor cenário é proposto a análise das propriedades do biogás captado, verificando quais componentes devem ser necessariamente removidos do composto. Com base nestes dados é possível estipular a planta de tratamento essencial e após a quantificação do custo do tratamento, é viável estimar o valor recolhido na venda da energia, considerando aproximadamente 19.080 kW de potência térmica, menos a taxa de supressão da potência térmica na aplicação energética escolhida. O valor da potência térmica considerado por 1m<sup>3</sup> pode variar conforme o percentual de metano desejado no biogás tratado, neste trabalho em específico foi considerado 98% de metano e 2% de dióxido de carbono, composição esta, que pode ser utilizada inclusive na substituição ao gás natural.

## REFERÊNCIAS

ACCETTOLA, Francesca; GUEBITZ, Georg; SCHOEFTNER, Rainer. Siloxane removal from biogas by biofiltration: biodegradation studies. Clean Techn Environ Policy, [S.l.], v. 10, n. 211, 2008.

BIOFUELS BIOPRODUCTS AND BIOREFINING (BIOFPR). A review of biogas purification processes. Canada, 2008. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bbb.117/epdf>>.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). Balanço energético nacional. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2016.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf)>.

COIRO, Fernanda. Destino energético para as sobras: empresas reutilizam sobras da pecuária e das lavouras na geração de biometano e biogás. Zero Hora: caderno campo e lavoura, Porto Alegre, p.6, 2 ago. 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Inventário energético dos resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2018%20-%20Invent%C3%A1rio%20Energ%C3%A9tico%20de%20Res%C3%ADduos%20S%C3%B3lios%20Urbanos.pdf>>.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Landfill gas energy: a guide to developing and implementing greenhouse gas reduction programs. Estados Unidos, 2012. Disponível em: <[https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/landfill\\_methane\\_utilization\\_0.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/landfill_methane_utilization_0.pdf)>.

FELTRE, Ricardo. Química geral. 6. ed. São Paulo: Moderna, 2004.

GERMAN BIOGAS ASSOCIATION. Biogas an all-rounder: new opportunities for farming, industry and the environment. Alemanha, 2015. Disponível em: <[http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos\\_PDF/probiogas/biogas\\_an\\_all\\_rounder\\_2015.pdf](http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/probiogas/biogas_an_all_rounder_2015.pdf)>.

KARLSSON, Tommy et al. Manual básico de biogás. Lajeado: Editora Univates, 1 ed. 2014.

LIMA, Luiz. Lixo: tratamento e biorremediação. 3. ed. Hemus, 2004.

MAGALHÃES, Agenor. Biogás: um projeto de saneamento urbano. 1 ed. São Paulo: Nobel, 1986.

OLIVEIRA, Rafael. Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono. Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) – Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009. Disponível em: <[https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0ahUKEwi6pqaYr5zQAhVGF5AKHdHPDjMQFgg7MAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.tcc.sc.usp.br%2Ftce%2Fdispo\\_niveis%2F18%2F180500%2Ftce-26042010-091847%2Fpublico%2FOliveira\\_Rafael\\_Deleo\\_e.pdf&usg=AFQjCNGqCg6ZDUDI30Hxz17tjNfiPIInOzg&sig2=JQLYTOiJDVG5iV12ntiaow&cad=rja](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0ahUKEwi6pqaYr5zQAhVGF5AKHdHPDjMQFgg7MAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.tcc.sc.usp.br%2Ftce%2Fdispo_niveis%2F18%2F180500%2Ftce-26042010-091847%2Fpublico%2FOliveira_Rafael_Deleo_e.pdf&usg=AFQjCNGqCg6ZDUDI30Hxz17tjNfiPIInOzg&sig2=JQLYTOiJDVG5iV12ntiaow&cad=rja)>.

PROJETO BRASIL ALEMANHA DE FOMENTO AO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS (PROBIOGÁS). Barreiras e propostas de soluções para o mercado de biogás no Brasil. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/Barreiras-Mercado-Biogas.pdf>>.

PROJETO BRASIL ALEMANHA DE FOMENTO AO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS (PROBIOGÁS). Catálogo de tecnologias e empresas de biogás. Brasília, DF, 2015a. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/probiogas-catalogo.pdf>>.

PROJETO BRASIL ALEMANHA DE FOMENTO AO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS (PROBIOGÁS). Desenvolvimento de um anteprojeto para a implantação de uma usina modelo de pesquisa e capacitação de biogás na região de Concórdia/SC. Brasília, DF, 2015b. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/caderno2-planta-concordiasc.pdf>>.

PROJETO BRASIL ALEMANHA DE FOMENTO AO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS (PROBIOGÁS). Guia prático do Biogás: geração e utilização. Gülzow, 2010. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/guia-pratico-do-biogas.pdf>>.

PROJETO BRASIL ALEMANHA DE FOMENTO AO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS (PROBIOGÁS). O estado da arte da tecnologia de metanização seca. Brasília, DF, 2015c.

Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/probiogas-metanizacao-rsu.pdf>>.

REDE COOPERATIVA DE PESQUISAS (PROSAB). Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. 1. ed. Vitória: RiMa Artes e Textos, 2003.

RIO GRANDE DO SUL. Lei nº14.864, 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. Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em:<<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=320440>>.