

ÁREA TEMÁTICA: Reciclagem

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS DO CAMPUS DA PUC-RIO: ETAPAS DE TRATAMENTO, GERAÇÃO E PURIFICAÇÃO.

Victor Lemos de Araujo e Mello¹ (vlam94@gmail.com)
1 Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

RESUMO

O mundo vive atualmente uma superprodução de lixo acompanhado do esgotamento de espaços junto a centros urbanos para o manejo correto desses resíduos. Quando não tratado, o lixo pode ser vetor de doenças, causador de mau cheiro e poluição em fontes hídricas. Nesse contexto, se faz necessário o desenvolvimento e aplicação de tecnologias que diminuam a geração e tratem o lixo sem a necessidade de aterros sanitários. A tecnologia da biodigestão vem sendo aplicada em diversos países, principalmente na área rural. Para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos ainda são necessárias algumas adaptações no processo. No caso PUC-Rio temos como principais fontes de resíduos orgânicos: o refeitório universitário e as folhagens recolhidas no campus. Este trabalho tem como objetivo viabilizar um destino aos dejetos do refeitório, não aproveitados nas composteiras já existentes. O trabalho levou em consideração duas alterações em um projeto existente: a etapa de pré-tratamento e a utilização de esgoto para atingir o percentual de sólidos orgânicos de 10%ST. Foi escolhido o modelo canadense de biodigestor com alimentação semi-contínua e temperatura mesofílica. Os cálculos indicaram que, considerando um TDH de 14 dias, o volume necessário é de 2,77m³ com altura de 0,75m e diâmetro 2,16m, e a uma COV de 3,52 kgSV/dia/m³. O volume previsto de biogás, considerando a utilização da água de esgoto, é de 17m³CH₄/dia. A tecnologia de purificação recomendada foi a de ferro sólido umedecido descontinuamente com adição de NaOH, para a remoção, do H₂S, mais prejudicial aos geradores de energia e ao ambiente.

Palavras-chave: Digestão anaeróbia; Resíduos Sólidos Orgânicos; Biogás

EVALUATION OF BIOGASS PRODUCTION PROCESS FROM ORGANIC SOLID WASTE FROM PUC-RIO'S CAMPUS: TREATMENT, GENERATION AND PURIFICATION STEPS

ABSTRACT

The world has been living a trash overproduction and at the same time having less adequate disposal sites near urban areas. When disposed without any treatment trash can cause diseases, bad scent and hydric sources contamination. On that scenario there is a rising need to develop and apply new technologies that might reduce waste generation or at least treat it locally. Biodigestion is been applied on many countries, mainly on it rural area. There are still some adjustments to this process so it can be widely used on urban waste treatment. At the PUC-Rio campus there are two main organic waste sources: the university's restaurant and leaves swiping. This research means to treat the food waste of the restaurant, which is not used on the already operational campus composting site. This research took in consideration two modifications on the current project: a pre-treatment phase and the use of sewer water, instead of treated, to achieve the totals solid content of 10%. The biodigester model chosen was the Canadian with semi-continuous feed and mesophilic operational temperature. Considering the literature's hydraulic detention period of 14 days, the required volume was of 2,77m³ with 0,75m of diameter and a height/depth of 2,16m and an organic volumetric load of 3,52 kgVS/day/m³. The foreseen volumetric production of CH₄ is 17m³CH₄/day. The recommended purification technology is the stripping using solid iron discontinuously moistened with NaOH addition for the removal of the H₂S, which is more dangerous to the power generators and to the environment.

Keywords: Anaerobic digestion; Organic Solid Waste; Biogas

1. INTRODUÇÃO

A geração e processamento do lixo é um problema que cada vez mais chama atenção do mundo contemporâneo. Questões relacionadas à estocagem, tratamento e geração de subprodutos, como por exemplo, o chorume e gás metano, são apenas alguns das diversas barreiras da gestão de resíduos.

A geração excessiva dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é o resultado direto do consumo excessivo e inconsciente que praticamos. A consequência mais evidente é a falta de espaço próxima a centros urbanos para armazenamento e tratamento desses resíduos. Há, também, o elevado custo para manter depósitos de lixo em condições as menos nocivas para o ambiente. Nesse contexto o manejo dos rejeitos se torna um desafio eminente. (CORNIERI; FRACALANZA, 2010)

A pré-seleção entre dejetos que devem ser realmente descartados e os que podem ser inseridos em outras cadeias de processos é uma etapa que surge com a finalidade de evitar a sobrecarga nesses depósitos (ABRELPE, 2016). Esta ação, juntamente com os demais dos 7R's (Reduza, Repense, Responsabilize-se, Respeite, Recusa, Reaproveite e Recicle) formam um conjunto de diretrizes nas quais se baseia a Política Nacional de Resíduos Sólidos de 2010. (IDEC, 2018). A Tabela 1 apresenta de forma simplificada um panorama geral da gestão de RSU do Brasil.

Tabela 1. Valores Compilados de ABRELPE 2016

Região	População	RSU Gerado (ton/dia)	Destino (ton/dia)			
			Não Coletado	Aterros Sanitários	Aterros Controlados	Lixão
Norte	17740418	15444	2944	4429	3732	4339
Nordeste	56915936	55186	11831	15449	14284	13622
Centro-Oeste	15660988	16988	998	4845	7690	3455
Sul	29439773	22127	1140	14824	3859	2304
Sudeste (sem Rio)	69720956	83111	1966	59954	13111	8080
Rio de Janeiro	16635996	21678	203	14688	4639	2148
TOTAIS	206114067	214534	19082	114189	47315	33948

Tendo em vista que grande parte dos problemas sanitários (chorume e proliferação de vetores) e ambientais (gases de efeito estufa) são gerados pela parcela de carga orgânica presentes nos resíduos, o tratamento desta fração do lixo se torna extremamente importante. Com um volume de cerca de 50% no estado do Rio de Janeiro, esta fração do lixo, além de abundante e problemática, tem tratamento promissor utilizando-se de tecnologias que empregam degradação biológica. A biodigestão tem recebido um grande destaque como solução para este cenário. Se comparada com a compostagem, a digestão anaeróbia produz, além do adubo orgânico, produto principal da compostagem, o biogás. Este gás, rico em metano, pode ser reaproveitado energeticamente de diversas maneiras. No cenário da PUC-Rio, o biogás está sendo avaliado como combustível para a geração de energia elétrica. Cabe ressaltar que os processos de biodigestão tem sua aplicação clássica para dejetos animais, e bioprocessos como este em geral são extremamente sensíveis a todo tipo de alteração, sendo assim difícil a mudança de substrato bem como de qualquer outro parâmetro ambiental do processo. Outro fator importante da biodigestão é que existem coprodutos indesejados como gás carbônico e sulfídrico. Este último recebe maior destaque pois não apenas pode danificar equipamentos, como também é prejudicial ao meio ambiente. (FERREIRA, 2015).

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo complementar estudos preliminares à implementação de um biodigestor na PUC-Rio para tratar os rejeitos alimentares de seu refeitório universitário (RU). A

www.firs.institutoventuri.org.br

relevância deste projeto se dá na possibilidade de tratamento da fração orgânica de dejetos gerados no campus, que teriam como outro destino um aterro sanitário. Outro aspecto interessante é a descentralização do tratamento de dejetos, que desafoga a já sobrecarregada rede existente para esta função. O processo tem como objetivo a produção de biogás para queima em geradores à combustão interna para fornecer energia elétrica a Estação de Educação Ambiental do NIMA/PUC-Rio (Núcleo Integrado do Meio Ambiente da PUC-Rio). Serão propostos dimensionamento, sistema de purificação do biogás, captação de água para acondicionamento e etapas de pré-tratamento.

3. METODOLOGIA

3.1 Dimensionamento e estimativas de parâmetros

Para o dimensionamento do biodigestor utilizou-se dados dos resíduos do refeitório universitário do campus existentes em (BRANDÃO, 2018). O modelo do biodigestor escolhido foi o canadense, devido a simplicidade de implementação e a possibilidade de alimentação semi-contínua e temperatura de operação mesofílica (35°C). O dimensionamento foi realizado baseado no método descrito em (LIMA, 2015), que propõe o uso da compostagem de curta duração como pré-tratamento a etapa de biodigestão, visando a sua otimização. Este pré-tratamento foi considerado nesse trabalho uma vez que já existem no campus da Universidade 6 leiras de compostagem em funcionamento pertencentes ao NIMA/PUC-Rio.

Figura 1. Leiras de compostagem do NIMA (acervo do NIMA)



Como o RU não dispõe de separação dos dejetos de pós-consumo todo este resíduo será encaminhado para o pré-tratamento, mesmo que possua um percentual SV/ST (>70%) que não justifique o pré-tratamento (LIMA, 2015). O dimensionamento foi feito via método VALORGÁS (REIS, 2012) para estimar volume de água para ajuste de SV/ST, volume e dimensões do biodigestor e prever a geração de biogás. Vale ressaltar que na parte do cálculo do TDH este valor foi estipulado pela literatura e o volume foi calculado em função deste valor, não o contrário, uma vez que esse método tem por fim reduzir o TDH do biodigestor.

3.1.1 Estimativa da quantidade de água/esgoto

Como o objetivo da água é apenas diluir o teor de sólidos (não o orgânico) na entrada, optou-se pela utilização do esgoto gerado no próprio campus universitário por se tratar de uma fonte não tratada e abundante, e com uma DBO que pode elevar o potencial de geração do gás metano (NEITZEL, 2015). Na equação [1], para o cálculo da massa de sólidos totais no substrato inicial (Msti) utiliza-se a produção diária de resíduos orgânicos (Pd) e o total de sólidos percentuais contido nessa quantidade diária (STi). O valor de STi será obtido de dados da literatura para substratos semelhantes aos utilizados.

$$Msti \left[\frac{kg}{dia} \right] = \frac{Pd \left[\frac{kg}{dia} \right] \times STi [\%]}{100} [1]$$

O cálculo da massa total (água + sólidos), M_t , a ser alimentada no biorreator é dado a partir da equação [2], onde ST_f indica o teor de sólidos totais no substrato final, é a quantidade percentual de sólido desejada no substrato (M_{st}).

$$M_t \left[\frac{kg}{dia} \right] = \frac{M_{st} \left[\frac{kg}{dia} \right] \times 100}{ST_f [\%]} \quad [2]$$

A massa de água (M_a) é calculada, então, na equação [3] pela subtração da massa de sólidos (M_{st}) da massa total calculada (M_t).

$$M_a \left[\frac{kg}{dia} \right] = M_t \left[\frac{kg}{dia} \right] - Pd \left[\frac{kg}{dia} \right] \quad [3]$$

O volume diário é obtido na equação [4] pela definição de densidade utilizando M_a .

$$V_a \left[\frac{m^3}{dia} \right] = \frac{M_a \left[\frac{kg}{dia} \right]}{\rho_a \left[\frac{kg}{m^3} \right]} \quad [4]$$

3.1.2 Dimensionamento do biodigestor

O tempo de detenção hidráulica (TDH), conforme indicado na literatura, foi empregado para obtermos o volume do biodigestor (V_{ti}) na equação [5].

$$V_{ti} [m^3] = \frac{M_t \left[\frac{ton}{dia} \right]}{TDH [dia]} \quad [5]$$

Para um biodigestor junto ao gasômetro o V_t deve ser multiplicado por uma margem de segurança da literatura na equação [6].

$$V_t [m^3] = V_{ti} [m^3] * 1,3 \quad [6]$$

Considerando o modelo cilíndrico, o diâmetro do biodigestor (D) e a altura (H) são calculados nas equações [7, 8, 9] em função da relação altura/raio (H/R) de 0,7, recomendada para digestores de pequeno porte (REIS, 2012)

$$D [m] = \left[\left(\frac{V_{ti} [m^3]}{\pi} \times \frac{1}{H/R} \right)^{1/3} \right] \times 2 \quad [7]$$

$$R [m] = \frac{D [m]}{2} \quad [8]$$

$$H [m] = R [m] \times H/R \quad [9]$$

A carga orgânica volumétrica é então estipulada pela equação [10].

$$COV \left[\frac{kg \text{ SV}}{m^3 \text{ dia}} \right] = \frac{SV/ST \left[\frac{kg \text{ SV}}{dia} \right]}{V_{ti} [m^3]} \quad [10]$$

3.1.3 Estimativa do volume de biogás

A massa de sólidos voláteis (MSV) é calculada na equação [11] a partir do M_{st} e dados da literatura para ST/SV (RSO) dos tipos de resíduos utilizados.

$$MSV \left[\frac{kg}{dia} \right] = M_{st} \left[\frac{kg}{dia} \right] \times SV/ST(RSO) [\%] \quad [11]$$

A MSV é então multiplicada pelo PM (potencial metanogênico – valor da literatura) na equação [12] para se estimar o volume de metano produzido.

$$V_{CH_4} \left[\frac{m^3 CH_4}{dia} \right] = MSV \left[\frac{kg}{dia} \right] \times PM \left[\frac{m^3 CH_4}{kg} \right]$$

3.2 Escolha de tratamento para purificação do biogás

Algumas tecnologias foram avaliadas para a etapa de remoção das impurezas contidas no biogás. As tecnologias incluídas no estudo foram: Adição de ar no biodigestor, adsorção com zeolita ou carvão ativado (CREMONEZ et al., 2014), absorção com MEA/DEA ou ferro sólido umedecido (CREMONEZ et al., 2014; KOCH, 2014), adsorção PSA, permeação de membranas (CREMONEZ et al., 2014; PROBIOGÁS, 2010) e remoção química (PROBIOGÁS, 2010). Vemos na figura 2 a necessidade de purificação do biogás de acordo com sua utilização.

e optou-se por aquela que mais se adequa ao uso e escala requerida/disponível pela PUC-Rio.

Figura 2. Necessidade de condicionamento do gás para diferentes usos – Ferreira 2015

Tipo de uso do biogás	Nível de tratamento			Pressão mínima de trabalho
	Remoção de umidade	Remoção de H ₂ S	Remoção CO ₂	
Combustão direta (queimadores de gás)	Tratamento parcial	Tratamento parcial	Nenhum tratamento	-
Geração de calor (e.g.: combustível para caldeiras e aquecedores)	Tratamento parcial	Nenhum a tratamento completo	Nenhum tratamento	-
Cogeração de energia a partir de motores de combustão interna (MCI)	Tratamento parcial a completo	Tratamento parcial a completo (H ₂ S < 200 mg.m ⁻³)*	Nenhum a tratamento completo (CH ₄ ≥ 40,0%)	Compressão: > 3 bar*
Cogeração de energia a partir de turbinas e microturbinas	-	Turbina (H ₂ S < 10.000 ppmv)* Microturbina (H ₂ S < 50 ppmv)*	-	Pressão do combustível nas microturbinas: 345-552 kPa
Injeção na rede de gás natural	Tratamento completo (umidade < 70-80%)	Tratamento completo (H ₂ S < 10 mg.m ⁻³)	Tratamento completo (CH ₄ ≥ 96,5%)	Compressão: 5-70 bar**
Motores a gás (e.g.: biocombustível veicular)	Tratamento completo (umidade < 70-80%)	Tratamento completo (H ₂ S < 10 mg.m ⁻³)	Tratamento completo (CH ₄ ≥ 96,5%)	Compressão: 200 bar Teor energético: 13-21 MJ.m ⁻³

* Variável de acordo com a demanda dos fabricantes das tecnologias de conversão energética.

** Variável dependendo da rede de gás natural

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dimensionamento e estimativas de parâmetros

Os dados da estimativa de volume de esgoto, dimensionamento e estimativa de produção de biogás estão apresentados na tabela 2, 3 e 4. Os dados ressaltados em verde são aqueles com valor de projeto e serão aqui discutidos. Os demais dados estão apresentados para acompanhamento da evolução dos cálculos, bem como exposição de características encontradas para os resíduos e sistema de biodigestão em análise.

Tabela 2. Estimativa da quantidade de água

Nome da Variável	Variavel	Unidade	Valor	Fonte
Produção diária	Pd	kg/dia	97,29	BRANDÃO 2018
Produção diária - resíduos alimentares mistos	Pd-ra	kg/dia	34,29	BRANDÃO 2018
Produção diária - resíduos frutas e verduras	Pd-fv	kg/dia	63,00	BRANDÃO 2018
Sólidos totais - resíduos alimentares mistos	ST-ra	%	22,25%	BRANDÃO 2018*
Sólidos totais - resíduos frutas e verduras	ST-fv	%	12,09%	BRANDÃO 2018*
Sólidos totais - media ponderada	STi	%	15,67%	calc
Sólidos totais desejados	STf	%	10%	BRANDÃO 2018*
Massa de sólidos totais	Mst	kg/dia	15,25	calc VG
Massa total	Mt	kg/dia	152,46	calc VG
Massa de água/esgoto	Ma	kg/dia	55,17	calc VG
Densidade da água/esgoto	pa	kg/m ³	1000	dado
Volume diário de água/esgoto	Va	m³/dia	0,055	calc VG

* Dados compilados de varias fontes
calc VG: calculado pelo método VALORGAS

Tabela 3. Resultados do dimensionamento do biodigestor

Nome da Variável	Variavel	Unidade	Valor	Fonte
Razão sólidos voláteis/sólidos totais - resíduo alimentares mistos	sv/st-ra	%	91,20%	BRANDÃO 2018*
Razão sólidos voláteis/sólidos totais - resíduo frutas e verduras	sv/st-fv	%	91,09%	BRANDÃO 2018*
Razão sólidos voláteis/sólidos totais - resíduo frutas e verduras	sv/st-esg	%	52,0%	NEITZEL 2015
Razão sólidos voláteis/sólidos totais - media ponderada	SV/ST	%	60,48%	calc
Massa total	Mt	ton/dia	0,1525	calc VG
Tempo de detenção hidráulica	TDH	dias	14	LIMA 2015
Volume do biodigestor calculado	Vti	m ³	2,13	calc VG
Volume com margem da literatura	Vt	m³	2,77	calc VG
Razão raio/altura	H/R	-	0,7	BRANDÃO 2018*
Diâmetro do biodigestor	D	m	2,16	calc VG
Raio do biodigestor	R	m	1,08	calc
Altura do biodigestor	H	m	0,75	calc
Carga orgânica volumétrica	COV	kgSV/dia/m³	3,52	calc VG

* Dados compilados de varias fontes
calc VG: calculado pelo método VALORGAS

Em comparação aos resultados do dimensionamento já feito para este mesmo cenário tivemos uma redução de 7,85m³ para 2,78m³ em decorrência da redução do TDH proporcionada pelo pré-tratamento com compostagem (BRANDÃO, 2018). Isso, além de ser benéfico por representar

possíveis economias na implementação do projeto, representa uma facilidade para manejo, controle e localização, tendo em vista o tamanho e a localização do *campus* em uma área urbana. A COV obtida é maior, mas deve-se levar em consideração a utilização da rede de esgoto, que possui carga orgânica típica.

Tabela 4. Estimativa de volume de CH₄ gerado

Nome da Variável	Variável	Unidade	Valor	Fonte
Massa de sólidos voláteis - resíduo alimentar misto	MSV-ra	kgSV/dia	6,96	calc VG
Massa de sólidos voláteis - resíduo frutas e verduras	MSV-fv	kgSV/dia	6,94	calc VG
Massa de sólidos voláteis - esgoto	MSV-esg	kgSV/dia	28,69	NEITZEL 2015
Massa de sólidos voláteis	MSV	kgSV/dia	42,59	calc VG
Potencial metanogênico - resíduo alimentar misto	PM-ra	m ³ CH ₄ /kgSV	0,435	BRANDÃO 2018*
Potencial metanogênico - resíduo frutas e verduras	PM-fv	m ³ CH ₄ /kgSV	0,370	BRANDÃO 2018*
Potencial metanogênico - esgoto	PM-esg	m ³ CH ₄ /kgSV	0,390	NEITZEL 2015
Potencial metanogênico - media ponderada	PM	m ³ CH ₄ /kgSV	0,394	calc VG
Volume de metano esperado	VCH₄	m³CH₄/dia**	16,78	calc VG
* Dados compilados de varias fontes				
** Dado relativo à pressão e temperatura do biodigestor – semelhantes às CNTP				
calc VG: calculado pelo método VALORGAS				

Em comparação ao dimensionamento anteriormente proposto o volume de biogás previsto aumentou de 4,97m³ de metano (BRANDÃO, 2018) para 16,78m³ isso se deve, em grande parte, ao aporte de esgoto para equilíbrio do percentual de sólidos totais (%ST) na entrada do biodigestor. Este volume extra representa um maior potencial de geração energética do sistema de biodigestão. Além disso, deixou-se de gastar todo o volume previsto de água tratada, cujas características não traziam nenhum tipo de benefício à tecnologia.

4.2 Purificação do Biogás

Dentre as tecnologias avaliadas na literatura a absorção por ferro sólido umedecido descontinuamente se destacou pelo seu baixo custo de implementação, fácil manutenção e baixo custo dos insumos utilizados, além de se adequar bem à escala de produção dimensionada. A literatura ainda sugere a utilização de NaOH em solução com a água para aumentar a eficiência desta tecnologia. Esta otimização é decorrente da reação descrita na equação a baixo:

$$2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{Na}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O} \text{ (Mercado, 2010)}$$

5. CONCLUSÃO

A biodigestão pode ser uma boa alternativa para o tratamento da fração orgânica de resíduos sólidos, principalmente em um cenário como de um refeitório universitário, o qual produz grandes quantidades centralizadas em um único espaço. Além de remover estes dejetos de aterros sanitários, onde poderiam gerar, inclusive, problemas sanitários, esta tecnologia permite o reaproveitamento energético, além de gerar adubo líquido como coproduto após a estabilização do processo. A integração com as leiras de compostagem, já presentes no *campus*, representa ainda possibilita de uma otimização do processo sem custos adicionais de implementação. Se alcançadas as condições previstas, o sistema pode ter sucesso gerando energia para a rede do

campus, além de alinhar mais o espaço da universidade às novas diretrizes ambientais cuja implementação se faz cada dia mais urgente.

Os resultados indicaram que a realização da etapa de pré-tratamento possibilitou significativa redução no projeto do biodigestor. Os resultados indicaram uma redução no volume do biodigestor de 64,6%, tendo sido obtido um volume de 2,77m³ com altura de 0,75m e diâmetro 2,16m. A carga orgânica volumétrica teve um valor superior (3,52 kgSV/dia/m³), muito devido também ao aporte de esgoto em detrimento da água, tal valor pode gerar alguma instabilidade na operação do biodigestor, que isso deve ser avaliado.

A mudança de água tratada para água de efluente, não só caracteriza uma economia tanto ambiental como monetária como também aumentou significativamente o volume de metano previsto de 4,97m³/dia para 16,78m³/dia. Esse aumento é condizente se avaliarmos a massa de esgoto que é introduzida em comparação com somente a de resíduos sólidos orgânicos.

A tecnologia de purificação deve ser ainda dimensionada para as características previstas do biogás de saída. Para futuras pesquisas dentro deste cenário é recomendada a implementação em escala reduzida para poder extrair dados mais precisos do gás produzidos, nas condições dimensionadas. Um estudo mais detalhado do processo de acondicionamento do gás, e a geração energéticas devem ser realizados para uma implementação completa do reaproveitamento energético. A viabilidade econômica deve ainda ser aferida, contudo pelo caráter ambiental e inovador do projeto a universidade pode ter benefícios não materiais, como destaque pela iniciativa inovadora e a contribuição positiva para a sociedade, que superem uma possível avaliação negativa.

O coproduto gerado, fertilizante líquido orgânico, pode também ser avaliado para manutenção de hortas e áreas verdes do *campus*, assim como já é feito com o composto das leiras de compostagem.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. São Paulo, 51p., 2016
- BRANDÃO, J. Desenvolvimento do projeto de um biodigestor anaeróbio de resíduos alimentares da PUC-Rio. Rio de Janeiro, 87p., 2018. Monografia (Graduação) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
- Conheça e pratique os 7 Rs do consumo sustentável. Idec - Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor, 2018. Disponível em: <<https://idec.org.br/consultas/dicas-e-direitos/pratique-os-7-rs-repense-respeite-responsabilize-se-recuse-reduza-reaproveite-e-recicle/>>. Acesso em: 20 de dezembro de 2018.
- CORNIERI, M. G.; FRACALANZA, A. P. Desafios do lixo em nossa sociedade. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, n,16, p. 57–64, 2010.
- CREMONEZ, P. A. et al. Main technologies available for biogas purification, Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science, v.7, n.1, p.113-119, 2014.
- FERREIRA, B. O. Avaliação de um sistema de metanização de resíduos alimentares com vistas ao aproveitamento. Belo Horizonte, 117p., 2015. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais.
- KOCH, F. F. Avaliação da viabilidade técnica quanto a obtenção de Biometano através da purificação de biogás em meio aquoso: um estudo de caso do projeto consórcio verde brasil. Lajeado, 108p., 2014. Dissertação (Mestrado) – UNIVATES.
- Lima Jr., R. G. S. Estratégias de compostagem como pré-tratamento de resíduos sólidos orgânicos. Rio de Janeiro, 209p., 2015. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

- MERCADO, A. G. Remoção de sulfeto de hidrogênio de biogás em instalação piloto com óxido de ferro. Florianópolis, 124p., 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- NEITZEL, J. A. Potencial de produção de biogás da codigestão anaeróbia de resíduos de frutas e verduras e lodo de esgoto primário. Florianópolis, 87p., 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- PROBIOGÁS. Guia Prático do Biogás - Geração e Utilização, 234p., 2010.
- REIS, A. S. Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio. Caruaru, 63p. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco