

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA BIODIGESTÃO
ANAERÓBIA DA VINHAÇA**

EDER FONZAR GRANATO

Tese apresentada a Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu, para obtenção de título de Doutor em Agronomia (Energia na Agricultura)

BOTUCATU - SP

Maio - 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA BIODIGESTÃO
ANAERÓBIA DA VINHAÇA**

EDER FONZAR GRANATO

Orientador: Prof. Dr. Jorge de Lucas Junior

Tese apresentada a Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp -
Campus de Botucatu, para obtenção de
título de Doutor em Agronomia (Energia
na Agricultura)

BOTUCATU - SP

Maio - 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Granato, Eder Fonzar, 1962-

G748a Análise de viabilidade técnica e econômica da biodigestão anaeróbia da vinhaça / Eder Fonzar Granato. - Botucatu : [s.n.], 2016
 xii, 114 f. : fots. color., graf. color., ils. color., tabs.

 Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2016
 Orientador: Jorge de Lucas Junior
 Inclui bibliografia

 1. Biogás - Composição. 2. Biogás - Produção. 3. Viabilidade econômica. 4. Resíduos industriais - Aspectos ambientais. 5. Poluição. I. Lucas Junior, Jorge de. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DA VINHAÇA

AUTOR: EDER FONZAR GRANATO

ORIENTADOR: JORGE DE LUCAS JUNIOR

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JORGE DE LUCAS JUNIOR
Dep'to de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI
Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrômicas - UNESP


Profa. Dra. VALERIA CRISTINA RODRIGUES SARNIGHAUSEN
Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia / Câmpus de Botucatu


Profa. Dra. MÔNICA SAPORITI SILVA DE MENDONÇA COSTA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas / UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ


Profa. Dra. JULIANA BEGA JUNQUEIRA
Dep'to de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Botucatu, 25 de maio de 2016

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha esposa Roseli, pelo amor, companheirismo, compreensão e comprometimento para com a realização do mesmo. Meu principal apoio, exemplo de vida, pois com certeza, sem ela nada disso seria possível. A ela dedico meu amor infinito.

As minhas filhas Mariângela, Mariany e Marieli, pela vida, pois a cada momento de fraqueza ou cansaço a imagem de cada uma com sua característica peculiar vinha em minha mente fazendo assim continuar, buscando dentro de mim o meu melhor, descobrindo a energia necessária para que este trabalho fosse concluído.

Ao meu neto Augusto, nascido em 2013, praticamente no início do trabalho, ao qual pretendo compensar daqui em diante a ausência pelas horas de viagem, estudo e dedicação.

Ao meus genros Mário e Rafael, pelo apoio, compreensão e motivação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço infinitamente ao Grande Arquiteto do Universo, senhor dos mundos pela vida e oportunidade de desenvolver o presente trabalho.

Meus agradecimentos a toda equipe da Pós-Graduação da FCA, indistintamente, pelo apoio, orientação e profissionalismo, os quais foram essenciais para execução desta tarefa.

Agradeço ao corpo docente do Programa Energia na Agricultura pelo aprendizado, dedicação e exemplo a mim proporcionados em especial aos professores Adriano Wagner Ballarin e Marco A. M. Biaggioni que acreditaram e apoiaram desde o início deste projeto.

Durante meus estudos tenho lido e ouvido falar sobre o Tratado de Gratidão de São Tomás de Aquino, que define claramente para mim o significado de gratidão, vindo a calhar como uma forma de me expressar ao meu orientador por tudo que tem representado.

Esse Tratado apresenta três níveis de gratidão: um superficial, um intermediário e um mais profundo.

O nível superficial é o nível do reconhecimento, do reconhecimento intelectual, do nível cerebral, do nível cognitivo do reconhecimento.

O segundo nível é o nível do agradecimento em si, do dar graças a alguém por aquilo que esse alguém fez por nós.

E o terceiro nível mais profundo do agradecimento é o nível do vínculo, é o nível do sentirmos vinculados e comprometidos com essas pessoas.

Outra coisa que aprendi e nunca imaginara, que em inglês ou em alemão se agradece no nível mais superficial da gratidão. Quando se diz "thank you" ou "zu danken" estamos a agradecer no plano intelectual.

Que na maior parte das outras línguas européias, quando se agradece, agradece-se no nível intermediário da gratidão. Quando se diz "merci" em francês, "gracias" em espanhol, ou "grazie" em italiano quer dizer dar uma mercê, dar uma graça por aquilo que me deu, estou-lhe grato por algo que me trouxe.

E que só em português é que se agradece com o terceiro nível, o nível mais profundo do tratado da gratidão. Nós dizemos "obrigado". E obrigado quer dizer isso mesmo. Fico-vos obrigado. Fico obrigado perante vós. Fico vinculado perante vós. Fico-vos comprometido a um diálogo, comprometido a uma tarefa, comprometido a uma missão.

É com esse diálogo, enfim, que quero e preciso registrar professor Jorge de Lucas Junior: "Muito Obrigado!"

SUMÁRIO**Página**

LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	X
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 OBJETIVOS	7
4.1 Objetivo Geral	7
4.2 Objetivos Específicos	7
5 REVISÃO DE LITERATURA	8
5.1 Desafios relacionados a produção de energia	8
5.2 Energias renováveis e alternativas	11
5.2.1 Energia eólica	11
5.2.2 Energia solar fotovoltaica	13
5.2.3 Energia da biomassa	14
5.3 Biodigestão anaeróbia	17
5.3.1 A influência do pH na biodigestão anaeróbia	19
5.3.2 A influência do uso do reciclo na biodigestão anaeróbia	20
5.3.3 A influência da temperatura na biodigestão anaeróbia	23
5.4 Biodigestores anaeróbios	25
5.5 Vinhaça	28
5.5.1 Biodigestão anaeróbia da vinhaça	31
5.6 Biogás	36
5.7 Hidróxido de Sódio (NaOH)	40
5.8 Viabilidade econômica	40
5.8.1 Demonstração de Fluxo de Caixa (DFC)	41
5.8.2 Valor Presente Líquido (VPL)	42
5.8.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)	42
5.8.4 Cálculo do Payback Descontado	43
5.9 Proposta de geração de biometano a partir da vinhaça	43
6 MATERIAIS E MÉTODOS	45
6.1 Ensaio de biodigestão anaeróbia	45
6.2 Coleta de vinhaça para ensaio de biodigestão anaeróbia	45
6.3 Descrição do aparato	45
6.3.1 Reator e gasômetro	45

6.3.2	Bomba	47
6.3.3	Equalizador da temperatura da vinhaça	47
6.4	Determinações analíticas.....	48
6.4.1	Volume de biogás produzido	48
6.4.2	Determinação da DQO	48
6.4.3	Análises da composição do biogás produzido	49
6.5	Ensaio de viabilidade econômica	49
6.5.1	Empresa na qual foi desenvolvido o estudo de caso	49
6.5.2	Destinação da vinhaça para biodigestão anaeróbia.....	49
6.5.3	Produção de biogás	49
6.6	Definição do Experimento	50
6.6.1	Avaliação técnica	50
6.6.2	Avaliação Econômica.....	51
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
7.1	Avaliação técnica	53
7.1.1	- Etapa 1: correção do pH da vinhaça	53
7.1.1.1	Produção de biogás	54
7.1.1.2	Composição do biogás	56
7.1.1.3	DQO da entrada e saída da vinhaça	58
7.1.2	Etapa 2: uso do reciclo	60
7.1.2.1	Produção de biogás	61
7.1.2.2	Composição do biogás	63
7.1.2.3	DQO da entrada e saída da vinhaça	65
7.1.3	Etapa 3: correção da temperatura da vinhaça.....	67
7.1.3.1	Produção de biogás	68
7.1.3.2	Composição do biogás	70
7.1.3.3	DQO da entrada e saída da vinhaça	72
7.2	Avaliação econômica	74
7.2.1	Demonstração do Fluxo de Caixa (DFC).....	75
7.2.2	Valor Presente Líquido (VPL)	76
7.2.3	Taxa Interna de Retorno (TIR).....	77
7.2.4	Cálculo do Payback Descontado.....	77
8	CONCLUSÕES	79
9	REFERÊNCIAS	80
	APÊNDICE I.....	87
	APÊNDICE II	93

APÊNDICE III.....99
APÊNDICE IV.....105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Característica físico/química da vinhaça.....	30
Tabela 2 - Balanço energético de uma tonelada de cana	35
Tabela 3 – Comparativo energético do biogás com outros combustíveis.....	38
Tabela 4 – Comparativo dos custos de produção de energéticos concorrentes	39
Tabela 5 – Estimativa do potencial brasileiro para substituição por biogás	39
Tabela 6 – Detalhamento das etapas do experimento	51
Tabela 7 – Produção de biogás (m ³) em função do pH da vinhaça.....	55
Tabela 8 – Composição do biogás (%) de CH ₄ e CO ₂ em função do pH da vinhaça	57
Tabela 9 – DQO (mg l ⁻¹) da entrada e saída em função do pH.....	59
Tabela 10 – Produção de biogás (m ³) em função do uso do reciclo	62
Tabela 11 – Composição do biogás (%) de CH ₄ e CO ₂ em função do uso do reciclo.....	64
Tabela 12 - DQO (mg l ⁻¹) da entrada e saída com e sem reciclo	66
Tabela 13 - Produção de biogás (m ³) em função da temperatura da vinhaça	68
Tabela 14 - Composição do biogás (%) de CH ₄ e CO ₂ em função da temperatura da vinhaça	70
Tabela 15 - DQO (mg l ⁻¹) da entrada e saída em função da temperatura.....	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do fluxo de caixa	41
Figura 2 - Reator e gasômetro em operação.....	46
Figura 3 - Desenho e medidas do reator UASB utilizado no experimento.....	46
Figura 4 - Desenho e medidas do gasômetro no experimento	47
Figura 5 - Pré aquecedor da vinhaça modelo Solis	48
Figura 6 - Composição do biogás: quantidade relativa (%) de CH ₄ e CO ₂ no biogás produzido pela biodigestão da vinhaça	58
Figura 7 - Quantidade de DQO (mg.l ⁻¹) da entrada e saída da vinhaça na biodigestão anaeróbia	60
Figura 8 - Produção diária de biogás (m ³) em função do uso do reciclo	63
Figura 9 - Composição do biogás: quantidade relativa (%) de CH ₄ e CO ₂ em função do uso do reciclo.....	65
Figura 10 - DQO (mg.l ⁻¹) da entrada e da saída de biodigestores abastecidos com vinhaça pura e com reciclo	67
Figura 11 - Produção diária de biogás (m ³) em função da temperatura da vinhaça.....	69
Figura 12 - Composição do biogás: quantidade relativa (%) de CH ₄ e CO ₂ em função da temperatura da vinhaça	71
Figura 13 - Quantidade de DQO (mg.l ⁻¹) da entrada e da saída do biodigestor em função da temperatura do efluente.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

- ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica
- ANP: Agência Nacional de Petróleo
- CGEE: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
- Ca⁺⁺: Íon Orgânico de Cálcio
- cal: Calorias
- CaO: Monóxido de Cálcio
- °C: Graus Centígrados
- CBEE: Centro Brasileiro de Energia Eólica
- CELPE: Companhia Energética de Pernambuco
- CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
- CH₄: Metano
- CH₄/g DQO: Metano por Grama de Demanda Química de Oxigênio
- CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento
- CO₂: Dióxido de Carbono
- Cu: Cobre
- DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio
- DFC: Demonstração do Fluxo de Caixa
- DQO: Demanda Química de Oxigênio
- DQO/m³ dia/reator: Demanda Química de Oxigênio por metro cúbico dia por reator
- EGSB: Reator de Leito de Lodo Granular Expandido
- g/cm³: grama por centímetro cúbico
- GLP: Gás Liquefeito de Petróleo
- GWh: Giga Watt hora
- h: Hora
- HP: Potencia (Horse Power)
- H₂S: Ácido Sulfídrico

IC: Taxa de Recirculação de Reatores
IDH: Índice de Desenvolvimento Humano
IEA: Agência Internacional de Energia
K: Potássio
K⁺: Íon Orgânico de Potássio
K₂O: Óxido de Potássio
kcal: Quilocaloria
kcal/t: Quilocaloria por Tonelada
kcal/kg: Quilocaloria por Quilograma
kcal/m³: Quilocaloria por Metro Cúbico
kg: Quilograma
kgQDOl⁻¹: Quilograma de Demanda Química de Oxigênio por Litro
kg/m³: Quilograma por Metro Cúbico
kW: Quilowatt
kWh: Quilowatt Hora
LER: Leilão de Energia Reserva
m: Metro
MAPA: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
MW: Megawatt
m/h: Metro por Hora
m³: Metro Cúbico
m³l⁻¹: Metro Cúbico por Litro
Mg: Magnésio
mg⁻¹: miligramas por litro
Mg⁺⁺: Íon Orgânico de Magnésio
mg/l: Miligrama por Litro
mg⁻¹O₂: Miligrama por Litro de Dióxido de Oxigênio
N: Nitrogênio
Na⁺: Íon Orgânico de Sódio
NaOH: Hidróxido de Sódio
NH₃: Amoníaco
NH₄: Amônia
NH₄⁺: Íon Orgânico de Amônia

pH: Potencial Hidrogeniônico

PCH: Pequenas Centrais Hidrelétricas

P₂O₅: Fertilizante de Solo, Fosfato

S: Enxofre

UASB: Reator de Fluxo Ascendente (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

US\$: Dólar

tEP: Tonelada Equivalente de Petróleo

TIR: Taxa Interna de Retorno

US\$/kW: Dólar por Kilowatt

US\$/tEP: Dólar por Tonelada Equivalente de Petróleo

VPL: Valor Presente Líquido

Zn: Zinco

1 RESUMO

O Brasil produz anualmente 30 bilhões de litros de etanol de cana de açúcar com previsão do Ministério de Minas e Energia de atingir 36 bilhões de litros em 2024. A vinhaça é o resíduo líquido, rico em potássio e matéria orgânica que resulta da destilação do etanol, na proporção de 10 a 15 litros de vinhaça para cada litro de etanol. Disposto indevidamente, pode trazer sérios riscos para o ambiente devido ao alto potencial poluidor. Os estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul, possuem normas específicas sobre disposição desse resíduo, mas não atingem por completo o objetivo de controlar e mitigar os problemas, pois a disposição final da vinhaça se resume unicamente na fertirrigação sem qualquer outro tratamento. No presente trabalho, realizado no Laboratório de Biomassa do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP de Jaboticabal, analisou-se a biodigestão anaeróbia da vinhaça, caracterizando-se a produção de biogás e a redução do potencial poluidor. Para tanto, foram efetuados estudos de viabilidade técnica da biodigestão anaeróbia da vinhaça analisando os parâmetros: neutralização do pH da vinhaça, utilização do reciclo e estabilização da temperatura da vinhaça. Para os três parâmetros citados foram registrados e analisados dados referentes a: produção de biogás (m^3), composição do biogás (% de CH_4 e CO_2) e redução do potencial poluidor da vinhaça após biodigestão anaeróbia (DQO). No que diz respeito a produção do biogás, os resultados considerados relevantes foram na correção do pH (aumento de 97,5%) e no aquecimento do afluente (aumento de 79%). Em relação a composição do biogás, obteve-se, aumento de 9% de metano e redução de 3,6% de dióxido de carbono quando se aquece o afluente. Quando se

utiliza reciclo a redução de DQO aumentou em 50% e o aquecimento do afluyente permitiu aumentou a redução em 62%, demonstrando a viabilidade técnica do presente estudo. Para se determinar a viabilidade econômica foram efetuados estudos referentes a: Demonstração do Fluxo de Caixa, Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e Payback Descontado. Em relação ao Valor Presente Líquido, o resultado obtido foi de R\$ 2.179.331,76, maior que zero. A Taxa Interna de Retorno foi de 8%, maior que 7,5% (Taxa Atrativa Mínima). O retorno do investimento pelo cálculo do Payback Descontado será em 5,54 anos, provando assim que o projeto é viável economicamente.

Palavras chaves: composição do biogás, potencial poluidor, produção de biogás, retorno financeiro.

2 SUMMARY

ANALYSIS OF TECHNICAL FEASIBILITY AND ECONOMIC OF THE VINASSE ANAEROBIC DIGESTION. Botucatu , 2016. 122 p . Thesis (PhD in Agronomy / Energy in Agriculture) - Faculty of Agricultural Sciences , Universidade Estadual Paulista.

Author : EDER FONZAR GRANATO

Advisor: JORGE LUCAS JUNIOR

The Brazil annually produces 30 billion liters of ethanol from sugar cane with the Ministry of Mines and Energy forecast to reach 36 billion liters in 2024. The stillage is the liquid waste, rich in potassium and organic matter resulting from the distillation of ethanol in the proportion of 10 to 15 liters of vinasse per liter of ethanol. Willing improperly, can pose serious risks to the environment due to the high pollution potential. The states of São Paulo, Paraná and Mato Grosso do Sul, have specific rules on disposal of this waste, but do not reach completely in order to control and mitigate the problems because the final disposal of vinasse comes down solely in fertigation without any other treatment . In this study, conducted at the Laboratory of Biomass Department of Rural Engineering of the Faculty of Agricultural and Veterinary Sciences of Jaboticabal UNESP, analyzed the anaerobic digestion of vinasse, characterizing the production of biogas and reduce the pollution potential. Therefore, technical feasibility studies of anaerobic digestion of vinasse were made by analyzing the parameters: pH neutralization of vinasse, use of recycling and stabilization of vinasse temperature. For the three mentioned parameters

were recorded and analyzed data for: biogas production (m^3), biogas composition (% CH_4 and CO_2) and reduced pollution potential of vinasse after anaerobic digestion (COD). As regards the production of biogas, the results were considered significant at pH correction (increase of 97.5%) and heating the influent (79% increase). For biogas composition was obtained, an increase of 9% methane 3.6% reduction of carbon dioxide when heated affluent. When COD reduction using recycled increased by 50% and heating affluent allowed increased the reduction by 62%, demonstrating the technical feasibility of this study. To determine the economic feasibility studies were made regarding: Cash Flow Statement, Net Present Value, Internal Rate of Return and Discounted Payback. Regarding the Net Present Value, the result was of R\$ 2,179,331.76, greater than zero. The internal rate of return was 8%, higher than 7.5% (rate Attractive Minimum). The return on investment by calculating the Discounted Payback will be 5.54 years, thus proving that the project is economically viable.

Keywords: biogas composition, pollution potential, biogas production, financial returns.

3 INTRODUÇÃO

A temática sobre geração de energias alternativas vem ganhando espaço na discussão sobre a reestruturação da matriz energética nos últimos anos, principalmente tendo em vista os impactos ambientais negativos oriundos do uso e exploração dos combustíveis fósseis e a instabilidade do preço internacional do petróleo. Ademais, tem-se o fato de que o Brasil vem se destacando no cenário econômico mundial como o principal produtor de álcool combustível (etanol), que é considerado energia limpa, renovável e economicamente viável.

No Brasil são produzidos anualmente 30 bilhões de litros de etanol derivado da cana de açúcar. O Ministério de Minas e Energia planeja atingir nos próximos oito anos 36 bilhões de litros anuais. Para cada litro de etanol são gerados de 10 a 15 litros de vinhaça, resíduo líquido, com alto teor de potássio e matéria orgânica, conseqüentemente, apresentando alto potencial poluidor. Logo existe o problema que é enfrentado atualmente no manuseio e disposição final deste resíduo, que pode chegar a 480 bilhões de litros anuais na próxima década, que necessita de solução além da atual prática que é a fertirrigação, ou seja a aplicação da vinhaça como adubo.

A energia renovável produzida pelas usinas para uso externo, principalmente etanol, é cerca de nove vezes maior do que o insumo fóssil usado na sua produção, em grande parte por causa de sua autonomia energética. Dessa forma, o etanol da cana-de-açúcar se torna o mais atraente entre os usos comerciais de energia alternativa

no mundo, do ponto de vista de sustentabilidade, com redução de emissões de gases do efeito estufa em cerca de 12,7 milhões de toneladas de carbono equivalente (ANP, 2010).

Para cada litro de etanol produzido são gerados de 10 a 15 litros de vinhaça, sendo esta um resíduo altamente poluente e problemático no manejo e consequente eliminação.

Esse resíduo empregado “in natura” na lavoura da cana-de-açúcar, sendo tal prática denominada fertirrigação, a qual oferece em curto prazo uma solução para o problema da disposição desse resíduo. Levando-se em conta as várias remontas ocorridas em áreas próximas à unidade produtora, durante anos consecutivos, que ocorrem por redução de custos de transportes, disponibilidade de recursos e equipamentos adequados, o volume de vinhaça aplicado supera o recomendado, o que indica a necessidade de estudos que demonstrem alternativas para melhor aproveitamento energético e do valor fertilizante da vinhaça.

Sabe-se que diversos estudos sobre a viabilidade técnica da digestão anaeróbia da vinhaça são desenvolvidos atualmente, com experimentos instalados em escala piloto nas condições reais de trabalho, porém pouco se divulga sobre os resultados.

O que se sabe é que, por suas características, a vinhaça se mostra um promissor substrato orgânico para o processo de biodigestão anaeróbia, apresentando algumas deficiências de nutrientes como nitrogênio e fósforo e pH mais baixo, porém algumas técnicas operacionais, como a correção de pH, adição de nutrientes, controle de temperatura e o uso do reciclo poderão contribuir significativamente para o melhor rendimento do processo anaeróbio, tornando-o uma tecnologia limpa num conceito de desenvolvimento sustentável.

Destaca-se o fato de que no sistema de produção de etanol o biogás poderá contribuir diretamente no balanço energético oferecendo energia elétrica e/ou térmica e o biofertilizante (vinhaça biodigerida) não perderá algumas de suas principais características, principalmente o teor de potássio, com melhorias no pH. Dessa forma o efluente, após passar pelo processo de biodigestão anaeróbia, poderá ser utilizado como biofertilizante no processo de fertirrigação já existente.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Desenvolver estudo de viabilidade técnica e econômica para a geração de energia elétrica a partir da queima do biogás em turbina a gás, oriundo da biodigestão anaeróbia da vinhaça em destilaria anexa.

4.2 Objetivos Específicos

Avaliar o desempenho da biodigestão anaeróbia da vinhaça por meio de testes laboratoriais relacionados.

Coletar dados e informações levando em conta o pH da vinhaça, uso do reciclo e temperatura da vinhaça.

Catalogar dados para os tratamentos citados referentes a produção de biogás, composição do biogás e redução do potencial poluidor do efluente pós biodigestão.

Demonstrar a viabilidade econômica do projeto proposto por meio dos resultados obtidos pela Demonstração do Fluxo de Caixa (DFC), Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback Descontado.

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 Desafios relacionados a produção de energia

Energia pode ser definida, de uma forma objetiva, pela capacidade que, tem de realizar trabalho. Há 52 mil anos, o fogo foi a primeira fonte de energia que o homem utilizou, depois de sua própria força. Entre 10.000 e 5.000 AC ocorreu a Revolução Neolítica, caracterizada pela domesticação de certos animais que passaram a servir como fonte de energia. Nesse mesmo período, o homem aprendeu a plantar e com a agricultura surgiu a possibilidade de uso da biomassa como energia. Por volta de 2.000 AC, a navegação começou a usar a força do vento e em torno do século II AC, o homem se deu conta da força hidráulica, passando a fazer o aproveitamento da água como fonte energética para mover moinhos.

A partir do ano 1.000 DC dá-se o início à exploração mais intensa do carvão mineral e com a Revolução Industrial surgem inovações, como a invenção da máquina a vapor. Nos séculos XIX e XX verificou-se o aparecimento e desenvolvimento da eletricidade e dos motores de combustão interna a gasolina e demais derivados do petróleo. O petróleo passou então a imperar por todo o mundo como a principal fonte energética e a economia mundial encontra-se hoje moldada à comercialização dos combustíveis fósseis.

Um dos maiores desafios da humanidade é descobrir o caminho para reestruturar seu modo de produção e consumo da energia, de maneira que não seja autodestrutivo e que não degrade o meio ambiente. A questão sobre a substituição de um modelo de geração de energia “sujo”, baseado no petróleo, que afeta o clima e gera

poluição, por um modelo “limpo”, baseado em fontes de origem biológica, é de suma importância. Hoje, é indiscutível que o progresso industrial e o desenvolvimento sustentável, assim como a preservação do planeta, dependem da descoberta e utilização de novas alternativas de energia. Nesse contexto, estuda-se e investe-se atualmente nas inúmeras possibilidades de utilização em larga escala de fontes alternativas e menos prejudiciais ao meio ambiente, como a energia eólica, a energia fotovoltaica, a energia da biomassa e outras fontes. Acredita-se assim que num futuro próximo deverão coexistir várias fontes de energia renováveis e pouco poluentes, o que determinará um quadro econômico global completamente diferente daquele em que vivemos nos últimos 100 anos, com total hegemonia e dependência do petróleo. Nos últimos cinquenta anos, não houve uma só década em que não houvesse crises de petróleo na economia mundial, influenciando o mercado financeiro e todos e variados sentidos (RAMOS, 2004).

Bermann (2000) afirma que é importante conhecer os diferentes tipos de fontes de energia. E podem ser classificadas em três grandes grupos: renováveis e não renováveis; primárias e secundárias; convencionais e alternativas.

- **Renováveis:** têm capacidade de se regenerar em um tempo curto, tornando-a inesgotável. Ex.: Biomassa (óleos/biodiesel a partir de cana-de-açúcar, mamona, girassol, entre outros). **Não Renováveis:** oriundas de matéria orgânica decomposta por milhões de anos, não havendo tempo hábil para serem formados para uso humano. Ex.: Petróleo, gás natural e carvão.

- **Primárias:** quando utilizamos diretamente para geração de calor/energia. Ex.: Lenha queimada para uso doméstico. **Secundárias:** utiliza-se um meio de energia para obter outro. Ex.: Usina Nuclear enriquece o Urânio para aquecer a água e mover as turbinas, gerando energia elétrica.

- **Convencionais:** são as energias base da sociedade contemporânea. Ex.: Petróleo, gás natural, carvão e hidroelétricas. **Alternativas:** constituem uma alternativa ao modelo energético decorrente dos últimos dois séculos, sua introdução diversifica a matriz de energia dos países, aumentando sua segurança e seu desenvolvimento econômico e ambiental. Ex.: Solar, Eólica, Geotérmica e Maremotriz..

Apesar dos avanços tecnológicos atuais, proporcionados pela Revolução Técnico-Científico Informacional, o principal recurso da matriz energética é o mesmo desde a Segunda Revolução Industrial (1850) – o petróleo – tendo o carvão como segundo maior demanda e o gás natural em terceiro. Apesar dos investimentos em fontes alternativas renováveis, como a solar, eólica, fotovoltaica e biomassa, a base está ainda nos

combustíveis fósseis como a principal forma de obtenção de energia em nível mundial. Combustíveis fósseis são originados a partir da decomposição de restos de seres vivos, depositados em partes mais baixas da crosta terrestre. Neste caso, podemos perceber que cerca de 85% da matriz energética mundial é baseada em recursos finitos, emitindo cada vez mais CO₂ na atmosfera, alterando as condições climáticas do planeta. É importante frisar que há esforços em investir e aumentar o consumo de energia proveniente de fontes renováveis como a solar e a eólica. Países como Estados Unidos, China e Alemanha investem cada vez mais em pesquisas para tornar mais eficiente a captação e a distribuição de energia originada pelo vento e sol (MME, 2014).

De acordo com Walter (2000), no Brasil, diferente do mundo observamos que a matriz energética nacional é diversificada, tendo quase metade dela proporcionada por fontes renováveis, como a hidrelétrica e biomassa.

A diversificação demonstra que o Brasil está inserido neste novo cenário de mudanças e discussões sobre o clima e o desenvolvimento sustentável, já que busca alternativas à importação, extração e uso em larga escala de energias não-renováveis, como o petróleo, gás natural e carvão. Investimentos em produção de biocombustíveis a partir da cana-de-açúcar e na construção de usinas hidrelétricas, principalmente, na região Norte, trazem o Brasil para um patamar de um dos países com matriz energética mais limpa do mundo. Quase tudo que fazemos e usamos hoje passa por algum gasto de energia. Ir à escola ou ao trabalho, assistir à televisão, cozinhar, tomar banho, em tudo há gasto energético.

Todavia, existem diferentes formas de sua produção, distribuição e consumo, tanto de combustíveis, como de energia elétrica. A maioria dos transportes são movidos a partir de óleos refinados do petróleo (gasolina, diesel e querosene) sendo, então, o maior consumidor da indústria petrolífera. É, por isso que, uma entre diversas dificuldades em implementar sistemas eficientes de transporte público – como metrô, trens e ciclovias – além da introdução e barateamento de carros híbridos, que também são movidos à eletricidade, são originados pelas indústrias petroquímicas, que influenciam as ações governamentais na área energética. Dessa maneira, das 25 maiores empresas do mundo em 2013, mais da metade é vinculada ao setor de energia. Podemos adquirir de diversas maneiras a energia elétrica que abastece nossas residências, parques industriais e prédios públicos. Pode-se obter pelas hidrelétricas, com o represamento d'água, gerando quedas para fluir entre as turbinas. Também temos as termoelétricas – usinas que geram energia a partir do aquecimento de grande quantidade de água pela queima de gás natural, biomassa e Urânio enriquecido. Além, obviamente, das novas fontes limpas – solar, eólica, biomassa e outras (MME, 2014).

5.2 Energias renováveis e alternativas

Energia alternativa e energia renovável são duas expressões utilizadas frequentemente. Embora muitas vezes esses termos sejam adotados como sinônimos, existe uma diferença básica entre eles. Para tanto existe a necessidade da definição de ambos para esclarecimentos, principalmente o que significam esses termos dentro da lógica da sustentabilidade. Energia alternativa, em termos gerais, é toda e qualquer fonte energética que pode ser adotada como uma substituta a uma fonte convencional. Tratando-se do panorama nacional e mundial, a preocupação com fontes alternativas ocorreu após a crise energética oriunda da variação e vulnerabilidade do preço do petróleo (SILVA *et al.*, 2013)

Uma energia, para ser considerada renovável, precisa ter origem em fontes naturais que tenham a capacidade de regeneração a curto e médio prazo, o que não é o caso dos combustíveis fósseis. Exemplos de fontes de energia que combinam os dois conceitos, alternativa e renovável, são a energia eólica, a energia solar fotovoltaica e a energia da biomassa, respectivamente provenientes dos ventos, da luz solar e de resíduos orgânicos. Comparativamente, a exploração dessas fontes energéticas traria um menor prejuízo ao meio ambiente. A partir de então, o Brasil passou a se concentrar no desenvolvimento de fontes alternativas e renováveis de energia, com a proposta de ver-se cada vez mais independente e livre de países e mercados que dominam o cartel do petróleo para a produção da sua própria energia (ROCHA, 2012).

5.2.1 Energia eólica

A ABEEÓLICA (Associação Brasileira de Energia Eólica), em 1992 foi o primeiro indício dessa fonte de energia, que se deu por meio de um financiamento do Instituto de Pesquisa Dinamarquês, o Folkecenter, que proporcionou uma parceria entre o CBEE (Centro Brasileiro de Energia Eólica) e a CELPE (Companhia Energética de Pernambuco) para fabricar o primeiro aerogerador instalado no Brasil.

O Brasil destacou-se pois, produziu a primeira turbina eólica a entrar em operação da América do Sul, localizada no arquipélago de Fernando de Noronha no ano de 1992, a turbina de 225 kW. No entanto, ao longo dos dez anos seguintes, pouco se avançou na consolidação da energia eólica como fonte alternativa e renovável de geração de energia elétrica no país. A principal causa se deu pelo alto custo da tecnologia, seguido pela falta de políticas.

O grande incentivo veio no início da década de 2000, quando uma grande seca atingiu às barragens hidroelétricas brasileiras, causando escassez e racionamento de energia, resultando em conseqüências negativas para a economia do país. Apesar de possuir hidroeletricidade para mais de 75% de sua matriz energética, é importante assegurar outras fontes de energia que sejam complementares aos momentos de baixa pluviosidade e que combatam a distribuição geográfica dos recursos hídricos existentes. Nesse quesito, a energia eólica encaixa-se perfeitamente, pois se trata de uma energia limpa, renovável, que ocorre com maior intensidade nos meses de baixa precipitação (WANG, 2012).

No ano de 2001 criou-se o Programa “PROEÓLICA” – Programa Emergencial de Energia Eólica, como uma tentativa de incentivar a contratação de empreendimentos de geração de energia eólica do país e como objetivo de contratar 1050 MW de projetos de energia eólica até dezembro de 2003, no entanto esse programa não obteve os resultados esperados e foi substituído pelo PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. O principal ponto de destaque desse programa é o apoio para a fixação da indústria de componentes e turbinas eólicas no país, além do incentivo ao desenvolvimento das fontes renováveis na matriz energética (BLANCO, 2009).

Já no ano de 2009, ocorreu o primeiro leilão de comercialização de energia voltado exclusivamente para fonte eólica, denominado LER (Leilão de Energia Reserva) visando contratar um volume sobressalente ao de energia estimado para suprir a demanda do país, para ser utilizado como reserva de garantia física ao sistema elétrico. Após esse leilão, outros foram realizados, revelando sucesso na perspectiva eólica brasileira (ABEEÓLICA, 2016).

Como terceira fonte comercial de energia eólica, além do PROINFA e dos leilões, existe o Mercado Livre. No Mercado Livre em menor escala, os contratos são livremente negociados entre os participantes. Como resultado das iniciativas citadas acima, segundo a ABEEÓLICA – o Brasil possuía até o ano de 2012, cerca de 108 parques eólicos que totalizam 2,5 GW de capacidade instalada. Até o presente momento tem-se 379 usinas instaladas no Brasil, com capacidade instalada de 9,51 GW, as quais evitam que sejam lançadas 33.312.609 (T/ano) de CO₂, equivalente à emissão anual equivalente de cerca de 12 milhões de automóveis (CETESB, 2014). Para a próxima década de acordo como MME (2014) é projetada uma capacidade de 8,98 GW de energia eólica na matriz elétrica brasileira.

5.2.2 Energia solar fotovoltaica

O sol é um importante recurso energético, o qual vem ganhando reconhecimento e representatividade na matriz energética, diante disto, a energia solar fotovoltaica revela-se como uma alternativa tecnológica em potencial no Brasil e no mundo.

A Terra recebe do Sol anualmente uma energia equivalente a 1.7×10^{17} W, o que corresponde a cerca de 1000 vezes o consumo mundial de energia em todas as formas conhecidas. Em apenas uma hora o Sol disponibiliza sobre a Terra uma quantidade de energia superior ao consumo global de um ano inteiro. Pois, pode-se assim dizer que o Sol, comparado às outras formas de energia utilizadas em nosso planeta, é uma fonte inesgotável de energia. Caracterizada como energia gratuita, renovável, alternativa e não poluente (MACHADO, 2014).

A Resolução Normativa Nº 482, de 17 de Abril de 2012, regulamenta a geração de energia através de placas solares fotovoltaicas no Brasil. A grande incidência de radiação solar atuante no território nacional revela diversas oportunidades na diversificação da matriz energética e é um dos motivos que impulsionam o avanço da tecnologia e dos investimentos (ANEEL, 2012).

A empresa alemã German Solar Industry Association em 2015, demonstra que anualmente, no mundo, permite-se alcançar uma capacidade instalada de 100 GW e ainda evitar 70 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera, o que demonstra a grandeza que os projetos solares fotovoltaicos podem alcançar na questão do desenvolvimento sustentável e energias renováveis (IEEE, 2014).

O sistema já é utilizado em grande escala, dada à flexibilidade e praticidade da instalação de plantas solares fotovoltaicas autônomas, porém ainda apresenta necessidade de incentivos econômicos para se tornar popular. Esse tipo de energia pode ser definido como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade, através de um dispositivo chamado de célula fotovoltaica e do princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico (IMHOFF,2007).

O efeito fotovoltaico é o responsável por manter um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ele, a célula fotovoltaica não armazena energia elétrica, apenas conduz o fluxo. Portanto, esse efeito é gerado através da absorção da luz solar e da diferença de potencial na estrutura do material semicondutor (SEVERINO, 2010).

Durante a década de 50 foram desenvolvidas as primeiras células solares, utilizadas pela empresa americana de comunicações Bell Telephone. Para construir tais células é necessário montar pastilhas de semicondutores constituídos de cristais de silício nos quais introduzem impurezas ou dopantes. Estas impurezas são responsáveis por criar regiões com características opostas, a luz ao atingir o cristal, provoca uma excitação nos elétrons que passam a se deslocar pelo semicondutor e resultam na geração da corrente elétrica (CEPEL, 2015).

Apesar da facilidade em gerar energia e abundância da fonte de produção, existem dificuldades para utilização desta tecnologia em larga escala. A primeira é o alto custo dos equipamentos, como as placas coletoras e sistemas de armazenamento – banco de baterias. Seguido da baixa eficiência, atualmente atinge 18% devido a perda de parte de energia coletada na forma de calor. Por isso, se faz muito importante a continuidade de pesquisas e desenvolvimento para explorar da melhor forma essa energia (BSW SOLAR, 2015).

5.2.3 Energia da biomassa

Do panorama da geração de energia, o termo biomassa abrange os derivados recentes de organismos vivos empregados como combustíveis ou para a sua produção. Do ponto de vista da ecologia, biomassa é a quantia total de matéria viva presente num ecossistema ou numa população animal ou vegetal. Os dois conceitos estão, portanto, interligados, embora sejam desiguais.

Na definição de biomassa para a geração de energia não se contabiliza os tradicionais combustíveis fósseis, apesar destes também sejam derivados da vida vegetal (carvão mineral) ou animal (petróleo e gás natural), mas são resultado de várias transformações que requerem milhões de anos para acontecerem. A biomassa pode considerar-se um recurso natural renovável, contrariamente aos combustíveis fósseis.

A biomassa é utilizada na produção de energia a partir de processos como a combustão de material orgânico que se encontra presente num ecossistema, porém nem toda a produção primária passa a incrementar a biomassa vegetal do ecossistema. Parte dessa energia acumulada é empregada pelo ecossistema para sua própria manutenção (LORA, 2004).

Um dos primeiros empregos da biomassa pelo ser humano para adquirir energia teve início com a utilização do fogo como fonte de calor e luz. O domínio desse recurso natural trouxe ao homem a possibilidade de exploração dos minerais,

minérios e metais, marcando novo período antropológico. A madeira do mesmo modo foi por um longo período de tempo a principal fonte energética, com ela a cocção, a siderurgia e a cerâmica foram empreendidas. Óleos de fontes diversas eram utilizados em menor escala. O grande salto da biomassa deu-se com o advento da lenha na siderurgia, no período da Revolução Industrial. Nos anos que compreenderam o século XIX, com a revelação da tecnologia a vapor, a biomassa passou a ter papel primordial também para obtenção de energia mecânica com aplicações em setores na indústria e nos transportes. Apesar do início da exploração dos combustíveis fósseis, como o carvão mineral e o petróleo, a lenha continuou desempenhando importante papel energético, principalmente nos países tropicais (ANDRADE, 2007).

No Brasil, foi aproveitada em larga escala, atingindo a marca de 40% da produção energética primária, porém, para o meio-ambiente um valor como esse não é motivo para comemorações, afinal, o desmatamento das florestas brasileiras aumentou nos últimos anos. Durante os colapsos de fornecimento de petróleo que ocorreram durante a década de 1970, essa importância se tornou evidente pela ampla utilização de artigos procedentes da biomassa como etanol, gás de madeira, biogás e óleos vegetais nos motores de combustão interna.

Não obstante, os motores de combustão interna foram primeiramente testados com derivados de biomassa, sendo praticamente unânime a declaração de que os combustíveis fósseis só obtiveram primazia por fatores econômicos, como oferta e procura, nunca por questões técnicas de adequação (ANDRADE, 2007).

Para obtenção das mais variadas fontes de energia, a biomassa pode ser utilizada de maneira vasta, direta ou indiretamente. O menor percentual de poluição atmosférica global e localizado, a estabilidade do ciclo do carbono e o maior emprego de mão-de-obra, podem ser mencionados como alguns dos benefícios de sua utilização. Igualmente, em relação a outras formas de energias renováveis, a biomassa, como energia química, tem posição de destaque devido à alta densidade energética e pelas facilidades de armazenamento, câmbio e transporte. A semelhança entre os motores e sistemas de produção de energia de biomassa e de energia fóssil é outra vantagem, dessa forma a substituição não teria um efeito tão impactante nem na indústria de produção de equipamentos nem nas bases instituídas para transporte e fabricação de energia elétrica. A lenha é muito utilizada para produção de energia por biomassa - no Brasil, já representou 40% da produção energética primária. A grande desvantagem é o desmatamento das florestas (LORA, 2004).

De acordo com MME (2007), no Brasil, diversas usinas de açúcar e destilarias estão produzindo metano a partir da vinhaça, oriunda da fabricação do etanol da cana de açúcar. O gás resultante está sendo utilizado como combustível para o funcionamento de motores estacionários das usinas e de seus caminhões. O biogás obtido pode ser utilizado diretamente nas caldeiras, liberando maior quantidade de bagaço para geração de energia elétrica através de termoelétricas, ou gerar energia elétrica.

A serragem ou serradura de madeira, papel inservível, galhos e folhas decorrentes da poda de árvores em cidades ou casas, embalagens de papelão descartadas após a aquisição de diversos eletrodomésticos ou outros produtos, casca de arroz, capim-elefante, lodo de ETE também são fontes de biomassa.

Alguns exemplos de produtos derivados da biomassa são:

- Bio-óleo: líquido negro obtido por meio do processo de pirólise cujas destinações principais são aquecimento e geração de energia elétrica.
- Biogás: metano obtido juntamente com dióxido de carbono por meio da decomposição de materiais como resíduos, alimentos, esgoto e esterco em digestores de biomassa.
 - Biomass-to-Liquids: líquido obtido em duas etapas. Primeiro é realizado um processo de gasificação, cujo produto é submetido ao processo de Fischer-Tropsch. Pode ser empregado na composição de lubrificantes e combustíveis líquidos para utilização em motores do ciclo diesel.
 - Etanol Celulósico: etanol obtido alternativamente por dois processos. Em um deles a biomassa, formada basicamente por moléculas de celulose, é submetida ao processo de hidrólise enzimática, utilizando várias enzimas, como a celulase, celobiase e β -glicosidase. O outro processo é composto pela execução sucessiva das três seguintes fases: gasificação, fermentação e destilação.
 - Bioetanol "comum": feito no Brasil à base do sumo extraído da cana de açúcar. Há países que empregam milho (caso dos Estados Unidos) e beterraba (da França) para a sua produção. O sistema à base de cana-de-açúcar empregado no Brasil é mais viável do que o utilizado pelo americano e francês.
 - Biodiesel: Éster produzido com óleos vegetais como do dendê, da mamona, do sorgo e da soja.
 - Óleo vegetal: Pode ser usado em Motores diesel usando a tecnologia Elsbett.
 - Lenha: Forma mais antiga de utilização da Biomassa.

- Carvão vegetal: Sólido negro obtido pela Carbonização pirogenal da lenha ou Carbonização Hidrotermal.
- Turfa: Material orgânico, semi decomposto encontrado em regiões pantanosas.

O experimento brasileiro não está limitado apenas à esfera dos transportes, o setor de energia elétrica tem sido favorecido com a injeção de energia procedente das usinas sucroalcooleiras, geradas a partir da incineração do bagaço e da palha da cana-de-açúcar. Outros detritos como palha de arroz ou serragem de madeira também sustentam algumas termoelétricas pelo país. A respeito das conveniências referidas, o uso da biomassa em larga escala também exige certos cuidados que devem ser lembrados, durante as décadas de 1980 e 1990 o desenvolvimento impetuoso da indústria do etanol no Brasil tornou isto evidente. Empreendimentos para a utilização de biomassa de forma ampla podem ter impactos ambientais inquietantes.

O resultado poder ser destruição da fauna e da flora com extinção de certas espécies, contaminação do solo e mananciais de água por uso de adubos e outros meios de defesa manejados inadequadamente. Por isso, o respeito à biodiversidade e a preocupação ambiental devem reger todo e qualquer intento de utilização de biomassa (STPC, 2004).

Algumas das oportunidades mais promissoras para enfrentar essas preocupações e expandir a contribuição da energia da biomassa moderna envolvem avanços de vanguarda nas ciências biológicas e químicas, incluindo o desenvolvimento de culturas destinadas à produção de energia, através da seleção genética ou engenharia molecular, enzimas especializadas e até mesmo a simulação artificial de processos biológicos naturais, como a fotossíntese.

Grandes conquistas em novas fronteiras no campo da energia de biomassa, podem ter profundas implicações para o futuro das tecnologias da energia da biomassa. Conforme acontece com outras opções de recursos renováveis, a magnitude da contribuição da biomassa dependerá da forma como os avanços forem feitos (AGROORGÂNICA, 2004).

5.3 Biodigestão anaeróbia

Uma forma de geração de energia renovável e alternativa, segundo Souza (2000), a biodigestão anaeróbia é o processo de decomposição de matéria orgânica que ocorre na ausência de oxigênio gerando o biogás e um resíduo líquido rico

em minerais que pode ser utilizado como biofertilizante. O biogás é composto principalmente de metano e gás carbônico, ambos com ampla utilização na indústria. A combustão do metano libera energia térmica que pode ser convertida em outras formas de energia, o que dá ao biogás a conotação de Fonte de Energia Renovável. O uso do biogás como fonte de energia tem aumentado muito o seu valor de mercado e criando setores específicos como o de biodigestores. Nos biodigestores, a biodigestão anaeróbia ocorre nos chamados fermentadores. As técnicas aplicadas nos fermentadores são fundamentais para o aumento da eficiência na produção de biogás e biofertilizantes fazendo com que estes sejam o principal componente de um biodigestor, independente do modelo. A nível bacteriano, a biodigestão anaeróbia acontece em 4 etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

Na hidrólise as ligações moleculares complexas (polímeros) como carboidratos, proteínas e gorduras, são quebradas por enzimas em um processo bioquímico liberadas por um grupo específico de bactérias e dão origem à compostos orgânicos simples (monômeros) como aminoácidos, ácidos graxos e açúcares.

Existem diversos tipos de hidrólise como por exemplo as que variam em função da matéria orgânica utilizada, que é o caso da hidrólise de glicosídeos para a formação de açúcares e de proteínas para aminoácidos. Esse processo é de fundamental importância para a produção de biogás pois somente com a quebra dos polímeros maiores é que começa o processo de biodigestão, contudo esse processo ocorre na ausência ou não de oxigênio.

Na acidogênese as substâncias resultantes da hidrólise são transformadas por bactérias fermentativas em ácido propanóico, ácido butanóico, ácido láctico e alcoóis assim como hidrogênio e gás carbônico. A formação de produtos nesta fase também depende da quantidade de hidrogênio dissolvido na mistura. Quando a concentração de hidrogênio é muito alta, interfere negativamente na eficiência da acidogênese o que causa o acúmulo de ácidos orgânicos. Com isso, o pH da mistura baixa e o processo pode ser quase que totalmente afetado.

Na acetogênese o material resultante da acidogênese são transformados em ácido etanóico, hidrogênio e gás carbônico por bactérias acetogênicas. Essa é uma das fases mais delicadas do processo, pois é necessário manter o equilíbrio para que a quantidade de hidrogênio gerado seja consumido pelas bactérias Archeas responsáveis pela metanogênese.

A metanogênese ocorre por diferentes grupos de bactérias basicamente, que geram o metano e gás carbônico, derivados do ácido acético e em seguida geram o hidrogênio e gás carbônico que originam o metano e a água.

De acordo com WEBER (2006), o pH do processo, a uniformidade do meio e composição do leito e a temperatura de trabalho, influenciam diretamente na eficiência do processo de biodigestão anaeróbia.

5.3.1 A influência do pH na biodigestão anaeróbia

Salomon (2007) demonstra que a atividade das bactérias metanogênicas, produtoras de biogás, tem um rendimento ótimo na faixa de pH entre 6,6 e 7,4, e afirma que os microorganismos presentes no processo de biodigestão anaeróbia são seres vivos que necessitam de um meio propício ao seu desenvolvimento; por isso, a acidez e a alcalinidade são fatores importantes no processo de digestão anaeróbia. O pH do processo deve ser mantido entre 6 e 8, podendo ser considerado ótimo de 7 a 7,2; seu controle é função do acúmulo de bicarbonato, da fração de CO₂ da parte gasosa, da concentração em ácidos voláteis ionizados e da concentração de nitrogênio sob a forma de amônia. Inicialmente, as bactérias formadoras de ácidos fracionam a matéria orgânica e produzem ácidos voláteis. Daí resulta um aumento da acidez do meio e uma redução do pH. Quando as bactérias metanogênicas começam a agir, transformam os ácidos em metano, neutralizando o meio e elevando o pH. Outro fator que tende a elevar o pH é o teor de amônia, que aumenta quando as proteínas começam a ser digeridas. Um terceiro fator atuante sobre o pH do meio, agindo de modo a estabilizá-lo, é o bicarbonato. A concentração do íon bicarbonato é diretamente proporcional ao teor de dióxido de carbono e ao pH do meio. Assim, se as bactérias do primeiro grupo são muito rápidas e produzem mais alimentos do que as metanogênicas conseguem digerir, o dióxido de carbono liberando tornará maior a concentração de bicarbonato, o que impede a queda acentuada no pH. Com o correr da degradação do material orgânico em um sistema fechado, o pH tende a se elevar e a produção de metano tem o seu pico.

Souza (2000) relata que os valores de pH abaixo de 6 e acima de 8, praticamente fazem cessar a produção de metano. Se o conteúdo de um biodigestor em operação torna-se muito ácido, o método mais comum de restaurar o pH ideal é interromper sua alimentação por alguns dias. Isto dá um tempo para as bactérias metanogênicas reduzirem a concentração dos ácidos voláteis. Em digestores de grande porte, nos quais a interrupção da alimentação é complicada devido a problemas de

estocagem do resíduo, o pH é usualmente elevado pela adição de NaOH (soda cáustica), altamente alcalina a quantidades que possam regular o pH do substrato na neutralidade, ou seja, igual a 7.

Rocha (2012) demonstra que valores de pH abaixo de 6,0 ou acima de 8,0 diminuem consideravelmente a produção do biogás, podendo inibir por completo a produção de biogás e que no caso específico da biodigestão anaeróbia da vinhaça necessita de adição de insumos que possam regular o pH do substrato em função a acidez com que este resíduo é gerado.

5.3.2 A influência do uso do reciclo na biodigestão anaeróbia

O princípio da colônia interna de lodo bacteriano granular em suspensão foi inicialmente reportado na literatura, em 1962, por Hemens e seus colaboradores, num periódico destinado ao tratamento de efluentes. Porém, o avanço tecnológico que permitisse utilizar esse princípio só ocorreu no final dos anos 70, (LETTINGA, 1991).

O princípio da colônia interna do lodo bacteriano, segundo Lamo (2000), é considerado simples: o efluente é bombeado de baixo para cima, através do reator, que se encontra sob estritas condições anaeróbias, a uma velocidade de ascensão que varia de 0,5 a 1,5 m/h; dentro dele ocorre um processo de seleção que pode resultar no crescimento de microorganismos anaeróbios em conglomerados compactos (grânulos) de tamanho variando entre 0,5 e 5 mm. Esses grânulos são poderosos biocatalíticos que podem converter a matéria orgânica degradável em biogás, de maneira rápida e completa, com cargas de DQO variando de 10 a 25 kg DQO por m³ de reator por dia. Desde então, biodigestores UASB foram instaladas por todo o mundo, para tratar diferentes tipos de efluentes.

De fato, o sucesso da operação do reator depende da formação satisfatória dos grânulos no início do processo, pois ela permite à biomassa ativa ficar no interior do reator independentemente da velocidade do fluxo, mantendo-se uma boa eficiência de conversão a taxas de alimentação relativamente elevadas. Assim, o problema da formação dos grânulos em biodigestores de fluxo ascendente consiste em se conseguir uma ligação, entre as espécies bacterianas envolvidas, da ordem de nanômetros de proximidade, pois o desenvolvimento de grânulos se dá através de uma combinação das bactérias metanogênicas no interior e das bactérias acidogênicas nos 200 microns externos (PINTO, 1999).

Os mecanismos desse desenvolvimento ainda estão sendo pesquisados, contudo, com o aumento do emprego de biodigestores anaeróbios, cresce a disponibilidade de lodo granulado de alta qualidade para ser empregado em novas instalações, reduzindo significativamente o tempo de início da operação, entretanto, embora esse procedimento tenha dado bons resultados, mesmo com lodo de alta qualidade inoculado em uma unidade nova, alguns problemas podem ocorrer, levando à deterioração do inóculo. Pesquisas são necessárias para um melhor entendimento do comportamento das bactérias, surgindo a partir daí a possibilidade da utilização do reciclo do substrato durante o processo de biodigestão (LUCAS JR, 1994).

As principais características do reator UASB são o sistema de distribuição do afluente e o chamado separador de três fases. O substrato a ser tratado é distribuído ao longo da parte inferior, através de uma densa camada de lodo anaeróbico. O resíduo flui na direção da parte superior, passando pelo leito de lodo, no qual sua DQO é parcialmente convertida em biogás. No topo do reator, o separador de três fases atua sobre o efluente tratado, o lodo bacteriano granulado, mais pesado, volta a se depositar no fundo e o efluente sai pela parte mais alta do reator. Um bom contato entre o resíduo a ser tratado e o lodo anaeróbico é de fundamental importância para a performance do reator, por isso é necessário um sistema de recirculação. Em geral, os reatores UASB oferecem essa condição de recirculação durante a operação, não sendo preciso interromper o processo para executá-la. A retenção da biomassa dentro do reator influi de maneira decisiva na capacidade de conversão da DQO em biogás, o que chama atenção, também, para a importância do reator. Este deve ser construído com um material de qualidade para minimizar os riscos de corrosão, causada quase sempre pelo H_2S , presente em pequenas quantidades no biogás, e permitir a inspeção e, quando necessário, a limpeza. Várias modificações na configuração dos reatores UASB foram propostas para otimizar a performance do tratamento, o que tem proporcionado uma maior velocidade de ascensão do material em tratamento, em consequência um menor tempo de retenção e também um crescimento na taxa de carga orgânica processada. A principal alteração vem acompanhando a tendência de um aumento na relação altura/diâmetro nos reatores UASB, com objetivo de melhoria do desempenho e economia de espaço, que consiste na expansão ou ampliação do leito de lodo e, portanto, maior contato do resíduo com a biomassa bacteriana. Essa configuração aliada ao processo de recirculação levou a um melhor desempenho na produção do biogás pela biodigestão anaeróbia em reatores de fluxo ascendente (LAMO, 2000).

A tecnologia de recirculação interna é um desenvolvimento da empresa holandesa PAQUES BV, que possui sua patente e utiliza o mesmo processo de separação realizado pelo separador de três fases para a retenção da biomassa. De fato, o reator com recirculação do substrato consiste de dois reatores UASB superpostos um sobre o outro, um alimentado com alta carga orgânica e o outro com uma carga menor. Sua característica especial é a separação do biogás em dois estágios dentro do reator. O gás coletado no primeiro estágio, na metade da altura do reator, produz uma pressão ascendente que é usada para promover uma circulação interna do substrato. O sistema de recirculação consiste de um reator delgado com altura entre 16 e 24 m e superfície de área relativamente pequena. O efluente é bombeado para dentro do reator via sistema de distribuição, onde se mistura entre o lodo reciclado e o efluente. O primeiro compartimento contém o leito de lodo granular expandido, onde a maior parte da DQO é convertida em biogás. O biogás produzido nesse compartimento é coletado pelo primeiro conjunto de separadores e usado para gerar a pressão que permite que a mistura de resíduo em processamento e lodo bacteriano sejam carregadas pelo primeiro duto de fluxo ascendente, até um separador gás/líquido no topo, onde ocorre a separação. O biogás, livre da mistura, deixa o sistema. A mistura é direcionada, pelo primeiro duto de fluxo descendente, de volta ao fundo do reator, onde é novamente misturada ao leito de lodo e ao afluente que entra no reator. O efluente do primeiro compartimento sofre um pós-tratamento no segundo (compartimento de polimento), onde a DQO restante é removida. O biogás produzido nesse compartimento é coletado no separador superior, enquanto que o efluente transborda, deixando o reator, de acordo com fluxograma demonstrado no APÊNDICE IV, segundo Lamo (2000).

De acordo com Lamo (2000), a taxa de recirculação dos reatores depende da DQO do afluente, pois é proporcionada, como já foi dito, pela produção de biogás, sendo, portanto, autorregulada: quanto maior a concentração de DQO do afluente, maior a pressão do biogás produzido no primeiro compartimento e mais resíduo em processamento e lodo são recirculados pelo primeiro duto de fluxo ascendente; e, similarmente, quanto menor a concentração de DQO do afluente, menor a pressão do biogás e menor a taxa de recirculação interna do efluente.

A recirculação permite uma diluição e uma efetiva mistura do afluente adentrando no reator, ou seja, um melhor condicionamento do resíduo a ser processado. O leito concentrado de lodo anaeróbico é expandido e fluidizado pelo fluxo elevado de afluente, da recirculação e da produção de gás. O contato eficaz entre a

biomassa e a matéria a ser processada resulta em grande atividade bacteriana, permitindo maior carga orgânica e maiores taxas de conversão. Testes comparativos mostraram que os grânulos de microorganismos nos sistemas recirculados chegam a apresentar até o dobro de atividade metanogênica em relação aos grânulos provenientes de reatores UASB simples.

A retenção de biomassa bacteriana dentro do reator é realizada no compartimento superior facilitada por uma menor taxa de alimentação desse compartimento e, portanto, num tempo de retenção relativamente maior, o que contribui, também, para a remoção quase completa da DQO. A pressão do biogás produzido no segundo compartimento, embora menor que a do primeiro, também contribui para o processo de recirculação através do segundo duto de fluxo ascendente.

A turbulência produzida pelo biogás nesse compartimento é relativamente baixa, assim como a velocidade superficial do líquido, já não ativa a recirculação interna nessa seção. Ambos os fatores proporcionam boa retenção da biomassa, quando comparada com as condições nos reatores UASB, apesar de uma maior taxa de alimentação do afluente. Já os reatores UASB trabalham com taxa de alimentação e velocidade de ascensão de, no máximo, 15 a 20 kgDQO.l⁻¹.dia e 1,5 m/h, espera-se que os reatores com recirculação do substrato possam trabalhar com taxas de alimentação de até 40 kgDQO.l⁻¹.dia e velocidade de ascensão de 8 a 10 m/h.

Ramirez (2004), demonstra que o aumento no valor da taxa de reciclo facilitou o desempenho bacteriano, por prover maior contato substrato-biomassa e assim se ter uma maior produtividade microbiana, chegando a recomendação de uma taxa de reciclo de 2:1 na qual reatores UASB obtiveram sua melhor eficiência, ou seja a uma taxa de reciclo de 50%.

Reis (2012), relata que a recirculação da fração líquida, pode levar ao aumento das concentrações de CH₄ e CO₂ no biogás, elevando assim a produtividade do processo em função da uniformidade do substrato e aumento da ação das bactérias metanogênicas.

5.3.3 A influência da temperatura na biodigestão anaeróbia

Através de experiências realizadas, fica evidente que existe uma correlação entre a produtividade do processo de digestão anaeróbia e a faixa de temperatura de operação. Os microorganismos devem ser adaptados à faixa de temperatura

de trabalho, o que permite classificá-los também com relação a este parâmetro. As bactérias operando numa faixa inferior a 20°C são chamadas psicrófilas; outras operando entre 20 a 45°C são chamadas mesófilas; acima de 45°C operam as bactérias termófilas. Abaixo de 10°C o processo é, em geral, interrompido, visto que a produção de gás aumenta com a elevação da temperatura (LETTINGA, 1991).

A faixa termófila, apresenta taxas de conversão maiores e, assim, um menor tempo de retenção do resíduo no digestor, possibilitando assim a redução do seu volume, conseqüentemente reduzindo-se os custos iniciais de implantação da planta. Na faixa de 55 a 70°C, foi constatado que a celulose e outros polímeros alcançam as maiores taxa de hidrólise. Apesar disso, a maior parte dos digestores trabalha na faixa mesófila, por estes serem mais confiáveis, não necessitando de controle de temperatura. Mesmo a biodigestão termófila sendo considerada como mais crítica e mais sensível devido à vulnerabilidade das bactérias, principalmente as metanogênicas, às variações de temperatura, sem dúvida é o processo do qual obtêm maiores índices de produção de metano (CASTRO, 1991).

O processo de biodigestão anaeróbia ocorre em duas etapas. Na primeira etapa do processo estão envolvidas bactérias fermentativas, não produtoras de metano, que atuam por hidrólise extracelular quebrando polímeros orgânicos em suas unidades fundamentais, incorporando e fermentando esses produtos de hidrólise em ácidos orgânicos, álcoois, hidrogênio e dióxido de carbono. No segundo estágio, tais produtos são transformados em metano e dióxido de carbono pela ação das bactérias acetogênicas e metanogênicas. As bactérias metanogênicas em relação às bactérias produtoras de ácidos se reproduzem mais lentamente e são mais sensíveis às alterações das condições ambientais ou a condições adversas, como a presença de compostos inibidores. Assim sendo, procura-se favorecer ao máximo as condições ótimas de trabalho desse grupo de bactérias, operando-se com pH próximo da neutralidade, temperatura entre 45 e 67°C e evitando-se a presença no meio de fermentação de compostos químicos em concentrações inibidoras (TOLEDO, 2001).

O desenvolvimento do substrato de bactérias que inicia o processo é um desafio a ser vencido. No entanto, embora muito ainda possa ser feita nesta área, experimentos tratam o problema do início da operação com um melhor entendimento dos mecanismos de crescimento do substrato de biomassa e melhorando a confiabilidade do processo, abrindo inclusive novas possibilidades para o tratamento anaeróbio termófilo de alta eficiência do esgoto doméstico (WEBBER, 2006).

A viabilidade da biodigestão anaeróbia termofílica (55-57°C) da vinhaça em reatores UASB é demonstrada por Souza (1992), quando relata que são obtidos maiores índices de metano, quando se opera biodigestores nessa faixa de temperatura.

Bruno (2007) afirma que a atividade dos microrganismos é muito dependente da temperatura e que o nível ótimo associado à digestão anaeróbia é na faixa termofílica (50 a 55°C). A remoção de matéria orgânica e sulfato teve seu valor máximo nesta faixa, demonstrando assim que biodigestores anaeróbios que operam na faixa termofílica apresentam alta eficiência na produção de metano e remoção da DQO do afluente.

5.4 Biodigestores anaeróbios

Biodigestor anaeróbico é um sistema destinado a produção de biogás, principalmente o metano, através do tratamento de um leito fluidizado sem a presença de oxigênio. Durante o processo, a matéria orgânica contida no afluente é digerida pelas bactérias, que atuam na falta de oxigênio (por isso é chamado de anaeróbio). Esta digestão realizada pelas bactérias produz o biogás que pode ser transformado em energia. O resíduo líquido deste processo passa por um sistema de limpeza, através de um filtro biológico. Assim, a água fica limpa e pronta para o uso. Consistem basicamente numa câmara de fermentação, onde é processada a biodigestão da matéria orgânica, numa campânula que armazena o gás produzido ou, simplesmente, numa saída para esse gás, numa entrada do substrato a ser fermentado e numa saída para o efluente produzido pelo processo. É uma tecnologia simples, cuja principal preocupação é a manutenção das propriedades fermentativas da biomassa bacteriana. São muitos os modelos de biodigestores, alguns com importantes detalhes construtivos, que dependem do tipo de aplicação a que são destinados e, também, do nível tecnológico disponível. Eles visam satisfazer determinadas demandas específicas para cada caso, como, por exemplo, o saneamento, o atendimento de uma demanda energética e a utilização do material biodegradado como fertilizante. O biodigestor deve ser concebido com o objetivo de proporcionar essas vantagens citadas, embora seja reconhecidamente difícil atender as três de forma integrada e otimizada e podem ser classificados de acordo com o tipo de construção, modo de operação, a forma de armazenamento do gás, fluxo das substâncias em fermentação, temperatura de operação, com ou sem agitação e com ou sem dispositivos para agregar a biomassa bacteriana (LETTINGA, 1991).

As alternativas de construção de biodigestores são muitas e se resumem, de maneira geral, numa combinação de diferentes características por exemplo, um biodigestor pode ser contínuo, enterrado, mesofílico, de fluxo vertical, pode utilizar um gasômetro externo, possuir um agitador e uma matriz interna para auxiliar na agregação das bactérias. Estas são, normalmente, as características dos reatores de grande porte, construídos nas décadas recentes para o tratamento do esgoto doméstico. No estudo desenvolvido neste trabalho estão sendo utilizados os Biodigestores de Fluxo Ascendente. O processo de biodigestão, se conduzido em reatores convencionais, é relativamente lento, com tempos de retenção hidráulica do resíduo dentro do reator de vários dias, ou mesmo semanas, para se completar o processo. Esse era, sem dúvida, o principal obstáculo técnico para uma eventual aplicação do processo de digestão anaeróbia para a vinhaça. No entanto, é sabido que a redução do tempo de retenção pode ser obtida mantendo-se uma elevada concentração de microorganismos no interior do reator, o que pode ser conseguido por recirculação externa ou retenção interna dos microorganismos. Os biodigestores de alta eficiência, geralmente com fluxo ascendente, podem alcançar este objetivo (PINTO, 1999).

Um dos mais importantes acontecimentos na área de tratamento de efluentes, nas décadas recentes, foi o desenvolvimento do reator de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB = Upflow Anaerobic Sludge Blanket). É o biodigestor de elevada eficiência mais estudado e aplicado em todo o mundo (LAMO, 1991).

De acordo com Lamo (1991), para o caso da biodigestão anaeróbia da vinhaça, estão em operação biodigestores UASB, com sucesso comprovado, sendo que este equipamento é dimensionado levando-se em conta:

- Produção máxima diária de etanol da destilaria em estudo;
- Volume de vinhaça a ser gerado em consequência dessa produção;
- DQO do efluente, dado devido a sua origem do processo de fabricação;
- Carga orgânica a ser removida por dia.

A partir desses dados determina-se o volume do reator (diâmetro e altura), possibilitando o fornecimento da produção de biogás para o sistema. No reator UASB em sua coluna ascendente consiste de um leito de lodo, uma zona de sedimentação, e o separador de fase. Este separador de fases, um dispositivo característico do reator, tem a finalidade de dividir a zona de digestão (parte inferior), onde se encontra a

manta de lodo responsável pela digestão anaeróbia, e a zona de sedimentação (parte superior). A água residuária, que segue uma trajetória ascendente dentro do reator, desde a sua parte mais baixa, atravessa a zona de digestão escoando a seguir pelas passagens do separador de fases e alcançando a zona de sedimentação.

O afluente após entrar e ser distribuído pelo fundo do reator UASB, flui pela zona de digestão, onde se encontra o leito de lodo, ocorrendo a mistura do material orgânico nele presente com o lodo. Os sólidos orgânicos suspensos são quebrados, biodegradados e digeridos através de uma transformação anaeróbia, resultando na produção de biogás e no crescimento da biomassa bacteriana. O biogás segue em trajetória ascendente com o líquido, após este ultrapassar a camada de lodo, em direção ao separador de fases.

No separador de fases, a área disponível para o escoamento ascendente do líquido deve ser de tal forma que o líquido, ao se aproximar da superfície líquida livre, tenha sua velocidade progressivamente reduzida, de modo a ser superada pela velocidade de sedimentação das partículas, oriundas dos flocos de lodo arrastados pelas condições hidráulicas ou flotados. Isto possibilita que este material sólido que passa pelas aberturas no separador de fases, alcançando a zona superior do reator, possa se sedimentar sobre a superfície inclinada do separador de fases. Naturalmente que esta condição dependerá das condições hidráulicas do escoamento. Desse modo, o acúmulo sucessivo de sólidos implicará conseqüentemente, no aumento contínuo do peso desse material o qual, em um dado momento, tornar-se-á maior que a força de atrito e, então, deslizarão, voltando para a zona de digestão, na parte inferior do reator. Assim, a presença de uma zona de sedimentação acima do separador de fases resulta na retenção do lodo, permitindo a presença de uma grande massa na zona de digestão, enquanto se descarrega um efluente substancialmente livre de sólidos sedimentáveis. Na parte interna do separador de fases fica a câmara de acumulação do biogás que se forma na zona de digestão (LAMO, 1991).

O projeto do UASB garante os dois pré-requisitos para digestão anaeróbia eficiente: a) através do escoamento ascensional do afluente passando pela camada de lodo, assegura-se um contato intenso entre o material orgânico e o lodo e b) o decantador interno garante a retenção de uma grande massa de lodo no reator. Com o fluxo ascendente a estabilização da matéria orgânica ocorre na zona da manta de lodo, não havendo necessidade de dispositivos de mistura, pois esta é promovida pelo fluxo ascensional e pelas bolhas de gás (PINTO, 1997).

5.5 Vinhaça

A vinhaça, (vinhoto, restila ou calda da destilaria) é resultante da produção de álcool, após a fermentação do mosto e a destilação do vinho, na produção do etanol da cana de açúcar. Trata-se de um material com cerca de 2 a 6% de constituintes sólidos, onde se destaca a matéria orgânica, em maior quantidade. Em termos minerais apresenta quantidade apreciável de potássio e quantidade média de cálcio e magnésio. Também é conhecida pelos nomes vinhoto, tiborna ou restilo, representa o resíduo líquido e malcheiroso que sobra após a destilação fracionada do caldo de cana-de-açúcar (garapa) fermentado, para a obtenção do etanol (álcool etílico). Para cada litro de etanol produzido são gerados de 10 a 15 litros de vinhaça. A riqueza nutricional desse material está ligada a origem do mosto que será fermentado. Quando se parte de mosto do melaço, apresenta maiores concentrações em matéria orgânica, potássio, cálcio e magnésio, ao passo que esses elementos decaem consideravelmente quando se trata de mosto de caldo de cana, como é o caso das destilarias autônomas (OTTO, 2010).

Dos efluentes líquidos, a vinhaça é a que possui a maior carga poluidora, pois apresenta um DBO variando de 20.000 a 35.000 mg/l. A quantidade de vinhaça gerada pela destilaria é relativa ao teor alcoólico obtido na fermentação do mosto, de modo que a proporção pode variar de 10 a 15 litros de vinhaça por litro de álcool (PARANHOS, 1987).

Pode-se obter de 180 a 1.000 litros de vinhaça por tonelada de cana, em função do tipo de mosto usado na fermentação. A temperatura da vinhaça que sai dos aparelhos de destilação é de 80 a 100 °C. Dos resíduos da fabricação do álcool, a vinhaça é sem dúvida o mais importante, não só em termos de volume gerado, mas também em potencial poluidor, isto se justifica pela dificuldade apresentada na eliminação deste resíduo, desde o início da fabricação do álcool no Brasil. Inúmeros problemas ecológicos, sociais, políticos e econômicos gerados pela eliminação da vinhaça em leitos d'água estão registrados em literaturas que listam as disputas envolvendo usineiros e população. Tal prática é vetada por dispositivos legais desde 1934, por diversos artigos do Código Penal Brasileiro, Leis Estaduais e Portarias (OTTO, 2010).

A Portaria nº 322, publicada em novembro de 1978, pelo Ministério do Interior, proíbe terminantemente o lançamento direto e indireto de vinhaça em qualquer coleção hídrica pelas destilarias, obrigando as agroindústrias a apresentarem projetos para implantação de sistemas que utilizassem modo racional a vinhaça e águas residuais geradas pela fabricação do álcool. Inúmeras alternativas para utilização da

vinhaça foram propostas para que a mesma fosse aplicada racionalmente, como: concentração do resíduo, fertirrigação, ração animal, fabricação de tijolos, vinhodutos marítimos e geração de biogás através da biodigestão anaeróbica. É caracterizado como efluente de destilarias com alto poder poluente e alto valor fertilizante. O seu uso na fertirrigação deve ser controlado para evitar impactos ambientais negativos no solo, nascentes e lençóis freáticos. O poder poluente da vinhaça, cerca de cem vezes maior que o do esgoto doméstico, decorre da sua riqueza em matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosão, altos índices de demanda química de oxigênio (DQO de 20.000 a 35.000 mg.l⁻¹), e elevada temperatura na saída dos destiladores (de 85 a 90 °C); é considerado altamente nocivo à fauna, flora, microfauna e microflora das águas doces, além de afugentar a fauna marinha que vem à costa brasileira para procriação. Dos efluentes líquidos da indústria sucroalcooleira, a vinhaça é o que possui maior carga poluidora. Por constituir-se em matéria rica em nitrogênio, e em especial em potássio, a vinhaça vem sendo largamente empregada como fertilizante nas próprias lavouras de cana. Existem limitações nessa prática como a viabilidade econômica do transporte e o risco de saturação, percolações e arrastes do solo. Além da economia de fertilizantes comerciais, a fertirrigação com vinhaça traz benefícios hídricos e eleva a produtividade agrícola. A vinhaça proveniente da fabricação do álcool, a partir da cana de açúcar, apresenta composição variável em função dos seguintes fatores: natureza e composição do mosto, teor alcoólico do vinho e sistema de aquecimento do vinho nos aparelhos de destilação (SILVA, 2009).

De acordo com Rossetto (1983), os primeiros dados sobre a composição da vinhaça foram apresentados por Almeida em 1952, e eram relativos à vinhaça proveniente de mel final, concluindo que a vinhaça se tratava de um fertilizante orgânico, com alto teor de potássio. E que logo em seguida, em 1953, os resultados obtidos são comparados com adubos minerais, sem especificar origem e tipo. Já em 1958, Gomes cita a composição média da vinhaça no Estado de São Paulo, através dos resultados de análises efetuadas no Instituto Zimotécnico da Escola Superior de Agronomia Luis de Queiros (ESALQ).

Otto (2010) relata que à medida que se aumenta o volume de etanol produzido, o teor em K₂O da vinhaça decresce, de forma que os termos vinhaça de mosto mistos expressam um gama muito ampla de mistura de produtos açucarados enviados à fermentação. Mesmo para a vinhaça proveniente de mosto de melaço, notam-se valores menores atualmente, do que os de alguns anos atrás. Isso possivelmente se deva ao

fato de que nos dias atuais não se efetue um esgotamento completo do mel final, como ocorria anteriormente.

É importante a caracterização da vinhaça através de análise química periódica, a partir de uma amostragem criteriosa, a fim de que apresente dados seguros para seu uso racional. Na inviabilidade dessa avaliação periódica, pode-se lançar mão de métodos simplificados de análise, como a estimativa do teor de potássio a partir da determinação de cinzas condutivimétricas (PARANHOS, 1987).

Segundo Lamo (1991), a vinhaça apresenta pH de 3,7 a 5,0, temperatura de 80°C a 100°C e DQO de 15.000 mg.l⁻¹ a 60.000 mg.l⁻¹, dependendo da origem da fabricação do etanol, ou seja, se for proveniente do caldo puro, misto ou melaço, de acordo com o demonstrado na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Característica físico/química da vinhaça

Parâmetros	Caldo	Misto	Melaço
pH	3,7 - 4,6	4,4 - 4,6	4,2 - 5,0
Temperatura (° C)	80 – 100	80 - 100	80 - 100
DBO (mg.l⁻¹ O₂)	6.000 - 16.500	19.800 - 25.000	30.000 - 40.000
DQO (mg.l⁻¹ O₂)	15.000 - 33.000	40.000 - 50.000	60.000 - 75.000
Biogás (m³.l⁻¹)	6,0 – 14	16 - 20	24 - 30

Fonte: Lamo (1991)

Uma análise dos resultados das análises de vinhaça efetuados ao longo desses anos confirma a definição inicial como fertilizante orgânico, rico em potássio. Apesar do efeito da matéria orgânica em longo prazo ser considerável, os cálculos da vinhaça, quando utilizada racionalmente, são efetuados com base na quantidade de potássio a ser aplicada no solo. Normalmente se utilizam quantidades que possibilitam um fornecimento de ordem de 200 a 250 kg de K₂O/hectare (SOUZA, 2000).

Os micronutrientes da vinhaça apresentam importância maior para as condições do Nordeste, onde principalmente o Cu e o Zn devido ao seu baixo teor, são limitantes na produção de cana, principalmente nos solos dos “tabuleiros”. Não se verificam diferenciações profundas nas análises de vinhaças das várias regiões canavieiras

brasileiras, a não ser os valores em fósforo para as condições de Alagoas, onde aparecem surpreendentemente elevados. Dessa forma, a conceituação básica da utilização de resíduos não deve sofrer grandes variações, a não ser aquelas já conhecidas, como o tipo de matéria prima utilizada na fermentação, fases da safra e manejo dos equipamentos da destilaria (ROSSETTO, 1993).

De acordo com Camargo (1993), é evidente que o uso da vinhaça como fertilizante deve atender às necessidades locais de nutrição do solo devidamente analisado pelas normas vigentes, sendo que a quantidade recomendada aumenta de acordo com o tempo de utilização do solo e seus tratamentos intermediários (tratos culturais) efetuados durante o ciclo da cana.

Em 2005, a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) elaborou e publicou a Norma técnica P4.231 que dispõe sobre critérios e procedimentos para aplicação no solo do resíduo em questão. A norma discorre sobre inúmeros aspectos no processo de utilização da vinhaça, desde o armazenamento, passando pelo transporte e enfatizando o modo de aplicação. A Norma Técnica P 4.231/2005 regulamenta a disposição da vinhaça no solo, tendo como objetivo estabelecer os critérios e procedimentos para o armazenamento, transporte e aplicação da vinhaça, gerada pela atividade sucroalcooleira no processamento de cana de açúcar. Em dezembro de 2006 teve nova versão, sofrendo algumas alterações. A revisão ora apresentada foi realizada com o intuito de aprimorá-la e torná-la atualizada, diante das inovações ocorridas desde a última edição e, também, das observações efetuadas durante o período em que foi empregada e que mostraram a necessidade de serem reavaliadas. Esta revisão da norma apresenta meios específicos para o armazenamento, transporte e aplicação da vinhaça, levando em consideração as características físico-químicas da vinhaça e do solo; ou seja, uma forma segura de aplicação da vinhaça definindo os locais permitidos, as doses, o revestimento dos canais mestres e depósitos, entre outros. Para isto, consideraram-se os resultados de anos de estudos na busca de processos seguros em relação aos vários aspectos de proteção ambiental. Além da preocupação ambiental e social, a norma também contempla a utilização de forma eficiente e econômica da vinhaça, proporcionando não mais um ônus e, sim, um bônus na produção final (CETESB, 2006).

5.5.1 Biodigestão anaeróbia da vinhaça

De acordo com Pinto (1999), quando tratada através da digestão anaeróbia, num biodigestor apropriado, um litro de vinhaça pode gerar até 13 litros de

biogás, com cerca de 60 a 65% de metano e 35% a 40% de dióxido de carbono. Este biogás pode ser usado diretamente em queimadores para a produção de calor ou em motores estacionários para produção de energia elétrica; o metano pode ser separado do dióxido de carbono e utilizado em motores a combustão interna de veículos. O efluente do biodigestor guarda as mesmas propriedades fertilizantes da própria vinhaça, com a diferença de que o risco ecológico é significativamente reduzido, já que a DQO é removida em cerca de 90% e o pH aumentado. A exequibilidade da digestão anaeróbia da vinhaça vem sendo provada por vários estudos operando com plantas-piloto em condições reais, e algumas plantas em escala normal foram instaladas no Brasil. A tecnologia da digestão anaeróbia da vinhaça é o que se chama de “tecnologia limpa” porque possui as características de auxiliar no uso do recurso natural, no caso a biomassa da cana, da maneira mais eficiente possível, e gerar produtos e rejeitos com reduzido potencial de danos ecológicos. Além disso, ela pode ser uma tecnologia lucrativa, dependendo da utilização que se fizer do biogás, ou da estrutura de contabilização dos custos, e este é, sem dúvida, fato importante para a sua difusão e sucesso. Desta maneira, a tecnologia da digestão anaeróbia da vinhaça colabora diretamente para o desenvolvimento sustentável, indo ao encontro de seus princípios, e se constituindo, portanto, na melhor opção para o tratamento da vinhaça. Isto, porque contribui para a melhor exploração do recurso natural, a biomassa da cana; diminui o desperdício de energia; contribui para o crescimento da oferta de energia de um modo menos intensivo em matéria-prima e energia; contribui na diminuição do efeito estufa; aumenta a participação do gás, reconhecidamente menos poluente, na matriz energética; e, em suma, explora ao máximo uma fonte renovável de energia, melhorando seu rendimento energético, sem atentar contra o meio ambiente, e mesmo contribuindo para a melhoria deste. A digestão anaeróbia da vinhaça é lucrativa a partir do momento que o biogás produzido seja utilizado para gerar energia limpa e renovável.

A tecnologia de biodigestão anaeróbia da vinhaça pode ser considerada totalmente dominada, abre novas e melhores possibilidades de obtenção de energia, contribuindo para a redução de custos com energia nas usinas e destilarias. É uma resposta recente às alternativas de aproveitamento da vinhaça, permitindo a estabilização da matéria orgânica com desassimilação de uma mistura gasosa, tendo como componentes principais o metano e o dióxido de carbono. Nesse processo, elevadas eficiências de remoção de carga poluidora são alcançadas enquanto uma mistura gasosa de valor energético é produzida. Como a vinhaça em geral encontra-se disponível em temperaturas

entre 80 e 100°C, não há problema de consumo energético para manutenção da temperatura do processo, pois o mesmo é realizado em biodigestores UASB, na faixa termofílica de trabalho (SALERNO, 1991).

Segundo Nogueira (1996), as variações entre os processos industriais de produção de etanol dificultam a definição de uma composição específica para a vinhaça. Uma vez que os nutrientes são consumidos no processo apenas para o crescimento microbiano, o qual ocorre em baixa taxa, conforme observado anteriormente, as quantidades excedentes estarão disponíveis no efluente do processo, tornando esse material atrativo para a fertirrigação. Observa-se ainda que o lodo anaeróbico possui baixa taxa de autoconsumo, mesmo em prolongados períodos de inatividade, sendo capaz de conservar sua atividade específica com a mesma intensidade anterior à paralisação, em curtos intervalos de tempo. Essa característica do equipamento permite a volta ao funcionamento do reator após os períodos de entressafra sem que ocorra a necessidade de substituir ou readaptar o lodo biológico. O potencial de geração de biogás a partir da vinhaça é variável conforme seu conteúdo de matéria orgânica biodegradável durante o processo. A aplicação do processo fermentativo anaeróbico tem envolvido a utilização de reatores de grandes volumes devido à incapacidade desses sistemas convencionais na retenção da população microbiana de elevado tempo de duplicação. Se um sistema estiver submetido a um tempo de retenção celular menor que o tempo de duplicação médio das bactérias limitantes do processo, ocorrerá a lavagem das bactérias e a consequente impossibilidade de realização do processo. Num processo convencional – onde o tempo de retenção celular é igual ao tempo de retenção hidráulica – o mínimo tempo de retenção hidráulica permitido está limitado pelo tempo de duplicação das bactérias metanogênicas, que na prática corresponde a um tempo de retenção de cerca de dez dias, inviabilizando a aplicação do processo para despejos industriais.

De acordo com Tielbaard (1992), o reator de fluxo ascendente (UASB), com leito de lodo, configura uma evolução tecnológica que permite, através da retenção dos microorganismos em suspensão, a manipulação independente dos tempos de retenção celular e hidráulica, sendo possível sua operação com tempo de retenção hidráulica de poucas horas. Isto proporciona, em decorrência, a redução dos volumes e custos envolvidos na aplicação. O reator anaeróbico de fluxo ascendente com leito de lodo conjuga fundamentalmente as propriedades de elevada sedimentabilidade do lodo e o uso de um separador das fases sólidas, líquidas e gasosas, na sua parte superior. Esse reator possibilita a formação, em seu interior, de três regiões distintas, com comportamentos

dinâmicos característicos embora inter-relacionados. No fundo do reator forma-se um leito biológico constituído de material de alta sedimentabilidade, o qual é sobreposto por uma região constituída de material biológico, com menor grau de sedimentabilidade em relação ao leito inferior. A terceira região, já interna ao separador, tem características que permitem a floculação e o retorno do lodo para a zona ativa do reator. Dessa forma a perda de microorganismos é drasticamente reduzida e apenas o lodo fino deixa o sistema. Encontram-se em operação em diversos países várias unidades com reatores dessa mesma concepção, operando com vários tipos de efluentes industriais. Podem ser observadas taxas de aplicação, parâmetro que melhor caracteriza a eficiência de um reator, representando a quantidade de matéria orgânica que pode ser introduzida por unidade de volume do reator e de tempo, atingindo valores de até 20 kg DQO/m³.dia/reactor. Observam-se ainda tempos de retenção hidráulicos tão baixos quanto horas, e unidades de até 2.500 m³.

Lamo (1991) montou, em caráter demonstrativo, uma planta protótipo com unidade de produção (em reator de 120 m³), depuração, compressão e utilização do biogás.

Essa planta, consta de:

- Pequena área ocupada;
- Altas eficiências de degradação da matéria orgânica e conseqüente redução da carga poluidora da vinhaça em níveis acima de 90% da DBO;
- Pequena geração de lodo excedente, com produção da ordem de 5% DQO removida;
- Produção de gás combustível em níveis de até 0,35 m³ CH₄/kg DQO removida;
- Baixa necessidade de nutrientes;
- Alta atividade do lodo biológico, mesmo depois de prolongadas interrupções do processo.

Quanto à implantação de unidades industriais, o “start-up”, ou a rápida partida do sistema depende fundamentalmente da disponibilidade de lodo bacteriano já adaptado à vinhaça, com adequadas características de atividade e decantabilidade. Acrescente-se ainda que grandes quantidades de lodo serão necessárias para a inoculação das unidades industriais. No Brasil, atualmente, não dispomos de lodo excedente com tais características, havendo a necessidade de submeter às novas

instalações a um período inicial de aclimação e geração de lodo, resultando num período de um ano de operação, para a “start-up” do sistema, tendo em vista o lento crescimento das bactérias metanogênicas.

Como a produção nacional de álcool chega a 30 milhões de m³/ano, sabe-se que as destilarias geram assim em torno de 400 milhões de m³/ano de vinhaça. A partir desse número nota-se a dificuldade das agroindústrias canavieiras em utilizar racionalmente esse efluente, sem que incorram em riscos ecológicos prejudicando a produção. A Biodigestão Anaeróbia da vinhaça torna-se interessante, pois, além de fonte de geração de energia elétrica, a vinhaça não perde seu valor nutritivo como adubação orgânica, mantendo os teores de potássio, podendo assim após a biodigestão ser utilizada normalmente na fertirrigação.

Tabela 2 - Balanço energético de uma tonelada de cana

Produção de Energia por Tonelada de Cana	
250 kg de bagaço (1.800 kcal/kg)	450 x 10 ³ kcal (49,5%)
70 litros de álcool (5.600 kcal/litro)	392 x 10 ³ kcal (43,0%)
910 litros de vinhaça (5,7 kcal/litro)	67,0 x 10 ³ kcal (7,5%)
Energia Total/Tonelada de Cana	909,0 x 10³ kcal (100%)

Fonte: Lamo (1991)

O balanço energético de uma tonelada de cana é demonstrado na Tabela 2 segundo Lamo (1991), o autor tem por objetivo demonstrar o quanto de energia uma tonelada de cana pode proporcionar, e o ganho se for utilizada a biodigestão anaeróbica da vinhaça gerada por esta tonelada de cana, resumindo: 01 tonelada de cana, num processo de produção de álcool convencional, gera em torno de 842 x 10³ kcal, somadas as parcelas referentes a produção do bagaço queimado em caldeiras e o álcool como combustível, adicionando o processo de biodigestão anaeróbica da vinhaça, obtém-se um adicional de 67 x 10³ kcal/tonelada de cana, representando 7,5% de ganho de energia/tonelada de cana processada.

5.6 Biogás

Segundo Lucas Jr (1999), um problema que vem recebendo atenção especial nos últimos anos, não apenas no que se refere à produção animal em geral, é o alto potencial de emissão de gases de efeito estufa provenientes da degradação dos dejetos em lagoas de estabilização. Esses gases impedem a saída da radiação solar que é refletida na superfície da Terra para o espaço, contribuindo, assim, para o aumento da temperatura global (UNFCCC, 2006). Esses gases trazem grande preocupação devido ao seu tempo de vida na atmosfera e seu potencial de aquecimento global com relação ao CO₂ (o CO₂ é o principal gás do efeito estufa, por isso foi eleito como sendo índice 1 para o aquecimento global, e os demais gases são comparados a ele). Segundo a UNFCCC (2006), a vida média desses gases na atmosfera seria de 12 anos para o CH₄ e 120 anos para o N₂O e os respectivos potenciais de aquecimento global iguais a 21 e 310, ou seja, 21 e 310 vezes mais perigoso que o CO₂. A única forma de evitar a emissão desses gases seria a captação e posterior combustão, em que o CH₄ e N₂O seriam transformados em CO₂ e N₂ após a queima, reduzindo, assim, a contribuição para o aquecimento global. O uso de biodigestores é uma forma segura de captar esses gases de efeito estufa, pois consiste em um sistema fechado com uma saída que pode ser conectada a um queimador, para que ocorra a transformação de gases altamente prejudiciais em gases menos prejudiciais ao aquecimento global.

É o gás produzido a partir da decomposição da matéria orgânica (resíduos orgânicos) por bactérias, obtido em biodigestores anaeróbios, que resultam da conversão da biomassa em energia secundária, pelo processo de biodigestão anaeróbica de resíduos agro-industriais e domésticos,. Na geração de eletricidade a partir do biogás, ocorre a conversão da energia química do gás em energia mecânica por meio de um processo controlado de combustão; essa energia mecânica ativa um gerador que produz energia elétrica. O biogás também pode ser usado em caldeiras por meio de sua queima direta para a cogeração de energia. (LAMO, 1991).

Na produção do biogás pela biodigestão anaeróbia da vinhaça e de acordo com Rocha (1988), há três rotas para usar a biomassa fonte energética. A primeira é através da combustão direta, a segunda é a gaseificação e a terceira é a reprodução do processo natural em que a ação de micro-organismos em um ambiente anaeróbico produz

a decomposição da matéria orgânica e, conseqüentemente, emite o biogás. Além da proposta de se criar uma fonte de energia alternativa, a queima do biogás é muito mais vantajosa em relação a queima dos combustíveis fósseis porque no segundo caso a taxa de CO_2 na atmosfera sofre um aumento, o que não ocorre na primeira queima, pois a produção de CO_2 é equilibrada com o consumo do mesmo na fotossíntese da cana de açúcar no caso da produção de biogás pela biodigestão anaeróbia da vinhaça nas indústrias sucroalcooleiras.

A produção de gás pela biodigestão da vinhaça em usinas de açúcar e álcool, ou destilarias autônomas, tem sido objeto de estudos e tentativas de viabilização comercial há várias décadas, com forte interesse de usar o biogás para geração de energia elétrica. A tecnologia já alcançou um grau de maturidade razoável devido às sucessivas experiências em escala. Ainda permanecem algumas incertezas tais como os efeitos corrosivos do biogás nos equipamentos auxiliares e motogeradores e a estabilidade da biodigestão frente às flutuações na quantidade e qualidade da vinhaça processada. Estes problemas potenciais, que podem causar impactos negativos para o futuro comercial da tecnologia, só poderão ser realmente avaliados e resolvidos com a operação de unidades. Por isso, antes de entrar em escala comercial, seria conveniente a implantação de algumas unidades piloto, dentro de uma escala razoável. Devido ao potencial de geração de excedentes, estimados neste estágio em 20 kWh/t cana (considerando 180 milhões de toneladas de cana para etanol resulta no potencial para o Brasil de 3,6 TWh/ano). A introdução comercial da tecnologia de biodigestão da vinhaça e uso do biogás em motogeradores de energia elétrica merece atenção especial. É importante lembrar que existem, nos países desenvolvidos, inúmeras plantas de geração de eletricidade a partir de biogás, proveniente da biodigestão anaeróbica de outros substratos, como efluentes industriais e dejetos animais. As experiências operacionais destas plantas já está sendo aproveitadas para melhorar a confiabilidade técnica e econômica das plantas de geração com biogás da vinhaça propostas para serem implantadas nas indústrias sucroalcooleiras (TOLEDO, 2001).

Segundo Lamo (1991), obtêm-se através da vinhaça, 0,30 litros de CH_4 /gDQO consumida, sendo que a proporção de CH_4 no biogás é de 55 a 65% (sendo o restante CO_2). Neste cenário, a digestão anaeróbia da vinhaça (o efluente mais abundante em uma destilaria) surge como uma alternativa interessante, visto que além de promover a estabilização da matéria orgânica, também permite a geração de energia através do biogás.

De acordo com Cortez (2008), 1 m³ de vinhaça equivale a 4,8 N.m³ de CH₄. Verificou-se que o biogás é uma fonte renovável de energia. Desta forma, pôde-se concluir que o biogás produzido pela biodigestão anaeróbia apresenta potencial energético competitivo com outras fontes energéticas e que o aproveitamento energético do biogás da vinhaça apresentou adicionalidade.

Segundo Costa (2006), 1 m³ de biogás produz 2,4 kWh de eletricidade. As estimativas do potencial brasileiro de produção de biogás, a partir do processamento do etanol de cana de açúcar, mostram a importância relativa que o biogás poderia ocupar na matriz energética nacional. Os dados indicam também grande competitividade com vários energéticos, particularmente os de origem fóssil, cujas importações têm um peso relativo considerável na balança comercial brasileira. Lembrando ainda, que a queima de combustíveis fósseis provoca graves impactos ao meio ambiente e que o tratamento da vinhaça reduz sua carga orgânica poluente e produz um energético competitivo com esses combustíveis, conclui-se que se trata de uma alternativa economicamente viável e duplamente benéfica ao meio ambiente.

A Tabela 3 compara a nível energético o biogás com outros combustíveis existentes no país, segundo Souza (2000).

Tabela 3 – Comparativo energético do biogás com outros combustíveis

Combustível	PCI (kcal/kg)	Densidade (kg/m³)	Equivalência (m³ de CH₄)
Metano	11.350	0,775	-
Etanol	7.090	789	1,57 l
Diesel	10.000	830	1,00 l
Gasolina	10.600	735	1,10 l
GLP	10.000	585	1,50 l
Óleo combustível	10.500	880	0,95 l
Gás natural	11.440	0,775	0,96 m ³

Fonte: Souza (2000)

Outro dado importante fornecido por Souza (2000), é o custo de produção do biogás e o preço de alguns energéticos, demonstrados na Tabela 4. Na primeira alternativa, pode-se notar que mesmo na pior das hipóteses, o custo do biogás, se apresenta menor que dos outros energéticos. Já na segunda alternativa, nota-se que os

concorrentes que mais se aproximam do biogás, isto é, que poderiam ser queimados em caldeiras, são o óleo combustível, o gás natural, o GLP e carvão vapor. Com exceção do vapor gerado pela queima do carvão, cujo preço é bastante baixo, os demais combustíveis apresentam preços bastante superiores ao do biogás.

Tabela 4 – Comparativo dos custos de produção de energéticos concorrentes

1ª alternativa (veículos)		2ª alternativa (queima em caldeiras)	
Energético	US\$/t EP	Energético	US\$/t EP
Óleo Diesel	327	Óleo Combustível	150
Gasolina	437	GLP	204
Etanol	238	Carvão natural	25,9
Biogás	80 – 147	Gás natural	103

Fonte: Souza (2000)

De acordo com Souza (2000), da estimativa de produção e consumo nacional de energia e o que o Biogás representaria em relação a cada fonte, inter-relacionado com a equivalência energética entre um m³ de Biogás e outros energéticos, estima-se o potencial brasileiro de substituição desses energéticos pelo Biogás, demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Estimativa do potencial brasileiro para substituição por biogás

Energético	Consumo Energético Nacional	Equivalência Energética	Potencial por substituição por biogás	Substituição (%)
Gasolina (m³)	17.993.000	0,00061	1.831.894	10,18
Diesel (m³)	33.037.000	0,00055	1.651.708	5,00
GLP (ton)	6.362.904	0,00040	1.201.242	18,88
Etanol (m³)	13.308.000	0,00080	2.402.484	18,05
C. Min. (ton)	5.275.000	0,00074	2.222.298	42,13
Lenha (ton)	71.599.000	0,00350	10.500.000	14,67
Eletr. (MWh)	295.524.000	0,00125	3.753.881	1,27

Fonte: Souza (2000) *valores referentes a 1997 (MME, 1998)

Observa-se então que o biogás pode substituir 5% de todo o consumo nacional de Diesel (33.037.000 m³), correspondente à parcela de Diesel destinada à geração de eletricidade. Em 1997, o setor de transporte rodoviário foi responsável por 74% do consumo nacional de óleo Diesel (24.346.000m³).

Em relação ao GLP e o carvão mineral, verifica-se que o biogás corresponderia a 18,9% e 42,1%, respectivamente. No que diz respeito ao GLP importa-se cerca de 40% do consumo nacional (11.527.000 m³). Desse modo, cerca de 7% dessa parcela poderia ser substituída pelo biogás. Em relação à gasolina o índice potencial corresponde à cerca de 10%.

Em 1997, as importações de óleo diesel representaram cerca de 18% do consumo nacional desse energético, Estima-se, assim, que o biogás pode reduzir aproximadamente 28% dessas importações.

Quanto à eletricidade, o biogás representaria 1,27% do consumo nacional, o que corresponde a 3,7 milhões de MWh; ou seja, o equivalente ao consumo anual de uma cidade do porte de Belo Horizonte (cerca de dois milhões de habitantes) (SOUZA, 2000).

5.7 Hidróxido de Sódio (NaOH)

De acordo com Silveira (2011), a soda cáustica (NaOH – hidróxido de sódio) é, nas condições ambiente, um sólido branco bastante higroscópico (absorve a água presente no ar). Caracteriza-se por ser uma base de Arrhenius utilizada para neutralizar meios ácidos tornar rapidamente alcalino um meio reacional, mesmo em poucas concentrações. Sua obtenção origina-se da eletrólise de cloreto de sódio (NaCl) em meio aquoso. Apresenta-se no estado sólido higroscópico de cor branca leitosa, inodoro, com temperatura de fusão a 322°C e densidade específica de 2,13 g/cm³ e não combustível. Normalmente é utilizada para tratamentos de efluentes (resíduos) para correção de pH.

5.8 Viabilidade econômica

Segundo Luzio (2011), ao se realizar a análise de viabilidade econômica de determinado projeto, verifica-se a capacidade do projeto oferecer sucesso econômico/financeiro, ou seja, qual o tempo necessário para se pagar os investimentos efetuados no referido projeto.

De acordo com Rabelo (1987), o projeto só é viável se remunerar adequadamente o capital investido, tornando os benefícios maiores que os custos. Para se efetuar um estudo de viabilidade econômica, deve-se fazer estimativas de todo o gasto envolvido com o investimento inicial, operação e manutenção e receitas geradas durante um determinado período de tempo, para assim montar-se o fluxo de caixa relativo a esses

investimentos, custos e receitas e determinar quais serão os indicadores econômicos conseguidos com esse empreendimento. As ferramentas consideradas necessárias para se efetuar um estudo de viabilidade econômica são: Fluxo de Caixa, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Cálculo do Payback Descontado.

5.8.1 Demonstração de Fluxo de Caixa (DFC)

Segundo Marion (1998), no cálculo de viabilidade econômica, torna-se necessária a Demonstração de Fluxo de Caixa (DFC), pois indica a origem de todo o dinheiro que entrou no caixa, bem como a aplicação de todo o dinheiro que saiu do caixa em determinado período, e, ainda o resultado do fluxo financeiro. É a representação das contribuições monetárias (entradas e saídas de dinheiro) ao longo do tempo. Pode ser representado conforme a Figura 2, sendo: F_n = caixa líquido e/ou valor residual de ordem n ; F_0 = investimento inicial; n = período.

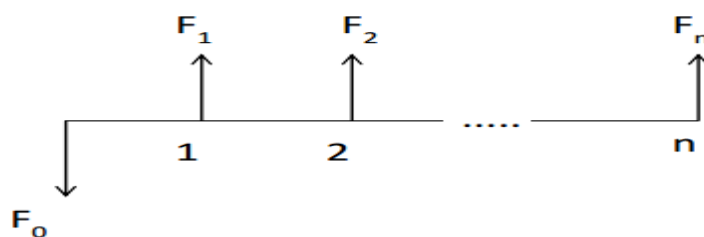


Figura 1 - Representação do fluxo de caixa

sendo:

F_n = caixa líquido ou valor residual de ordem n ;

F_0 = investimento inicial e

n = número de períodos.

A Demonstração do Fluxo de Caixa resume as entradas e saídas efetivas de dinheiro ao longo de um determinado período ao qual o projeto foi planejado, permitindo conhecer a sua rentabilidade e viabilidade econômica. Neste sentido, os fluxos de caixa representam a renda econômica gerada pelo projeto ao longo de sua vida útil.

5.8.2 Valor Presente Líquido (VPL)

Valor Presente Líquido (VPL) consiste em determinar o valor no instante inicial, descontando o fluxo de caixa líquido de cada período futuro gerado durante a vida útil do investimento, segundo uma taxa de juros i , obtendo o valor atualizado dos custos e receitas de uma alternativa proposta. O VPL maior ou igual a zero indica a viabilidade econômica do empreendimento, uma vez que gera retorno igual ou maior que o custo de capital investido. Quando um projeto apresenta o VPL menor que zero, seu retorno é inferior a seu custo de capital e ele deixa de ser viável (HOJI, 2010). A expressão do Valor Presente Líquido é representada a seguir:

$$\text{VPL} = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

sendo:

VPL = Valor Presente Líquido

FC = fluxo de caixa no período t

t = enésimo período no tempo em que o dinheiro será investido no projeto (começa no período 1, quando há efetivamente o primeiro fluxo de dinheiro)

n = número de períodos t

i = taxa de juros.

5.8.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

De acordo com Rebelatto (2004), a Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de desconto que torna o valor atual líquido (VPL) do investimento igual a zero. É o percentual de retorno obtido sobre o saldo obtido e ainda não recuperado em um projeto de investimento. Matematicamente a TIR é a taxa de juros que torna o valor presente das entradas de caixa igual ao valor presente das saídas de caixa do projeto de investimento.

É a taxa que torna equivalente o investimento inicial ao fluxo de caixa subsequente, ou seja, torna nulo o VPL do projeto dentro de um período de tempo estipulado (SANTOS, 1999).

Rebelatto (2004), ainda complementa que a TIR deve ser comparada com a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), para aceitação ou não do projeto.

A TIR de um investimento pode ser:

- maior do que a taxa atrativa mínima: significa que o investimento é economicamente atrativo.
- igual a taxa atrativa mínima: o investimento está economicamente numa situação de indiferença.
- menor do que a taxa atrativa mínima: o investimento não é economicamente atrativo, pois seu retorno é superado pelo retorno de um investimento sem risco. Logo, quanto maior a TIR, melhor será o investimento.

A TIR pode ser expressa como:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} - I_0$$

sendo:

FC_t = valor presente das entradas de caixa

I_0 = investimento inicial

k = taxa de desconto (taxa de juros)

t = tempo de desconto de cada entrada de capital

n = tempo de desconto do último fluxo de caixa

5.8.4 Cálculo do Payback Descontado

O Payback Descontado é um indicador que determina o prazo de recuperação de um investimento levando em conta a taxa de desconto para os fluxos de caixa de cada período, também chamado de payout, segundo (MOTTA & CALLOBA, 2002).

É utilizado para avaliar a atratividade de um investimento, que se combinado com outros indicadores demonstra a relação entre valor e tempo de retorno dos investimentos.

5.9 Proposta de geração de biometano a partir da vinhaça

Foi fornecido pela PAQUES Brasil Sistemas para Tratamento de Efluentes de Piracicaba, SP, fornecedora de biodigestores e demais equipamentos para biodigestão anaeróbia da vinhaça o estudo preliminar para geração de biometano a partir

da vinhaça, levando em conta as características e demais dados apresentados no experimento, demonstrado no Apêndice IV.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Ensaio de biodigestão anaeróbia

O ensaio de biodigestão anaeróbia foi desenvolvido no Laboratório do Departamento de Engenharia Rural, pertencente à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias FCAV/UNESP, Jaboticabal.

6.2 Coleta de vinhaça para ensaio de biodigestão anaeróbia

Durante o período que ocorreu o ensaio, foram coletadas amostras de vinhaça em Destilaria localizada no município de Penápolis, Estado de São Paulo.

6.3 Descrição do aparato

6.3.1 Reator e gasômetro

Para realização deste experimento foram utilizados dois conjuntos de reatores UASB, possuindo saída de biogás, saída de efluente, separador trifásico, defletor de gases e gasômetro. Em função do tamanho do reator construído, pode ser denominado como sendo de bancada, conforme demonstrado na Figura 3.

Figura 2 - Reator e gasômetro em operação

As Figuras 4 e 5 demonstram as dimensões do reator UASB e do gasômetro utilizados no ensaio.

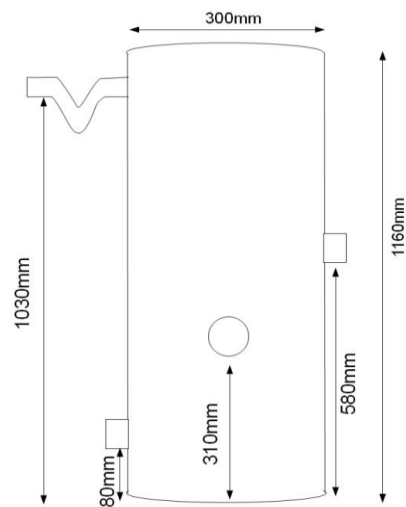
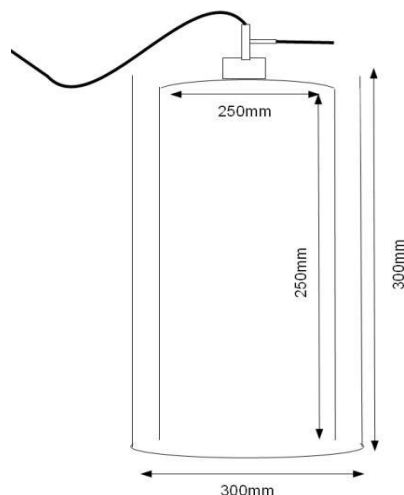
Figura 3 - Desenho e medidas do reator UASB utilizado no experimento

Figura 4 - Desenho e medidas do gasômetro no experimento

6.3.2 Bomba

Como o reator apresenta fluxo ascendente é necessária a utilização de uma bomba que realize o bombeamento da caixa de carga de afluente para dentro do reator.

Assim, para realização deste ensaio foi utilizada uma bomba da marca ADB, modelo Compacta 220V/50-60HZ – Parede, com capacidade de bombeamento em 15 litros/hora.

6.3.3 Equalizador da temperatura da vinhaça

Em função da vinhaça utilizada no experimento se apresentar a temperatura ambiente, foi utilizado um pré aquecedor de marca SOLIS, composto de tanque de armazenamento de 100 litros, termostato, bomba misturadora e resistência elétrica, mantendo assim o efluente a temperatura ideal e equalizado durante a realização do experimento, acoplado ao reator UASB, conforme Figura 6.

Figura 5 - Pré aquecedor da vinhaça modelo Solis



6.4 Determinações analíticas

6.4.1 Volume de biogás produzido

Os volumes de biogás produzidos diariamente foram obtidos medindo-se o deslocamento vertical dos gasômetros e multiplicando-se pela área da seção transversal interna dos gasômetros. Posteriormente, após a leitura, utilizando-se o registro de descarga do biogás os gasômetros foram zerados. A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 20°C será efetuada com base no trabalho de Caetano (1985).

Utilizando-se os dados de produção diária e as quantidades da vinhaça, durante o processo de biodigestão anaeróbia foi possível calcular o potencial de produção de biogás. Os valores foram expressos em m³ de biogás por kg de vinhaça, e de sólidos totais e voláteis.

6.4.2 Determinação da DQO

Os valores da Demanda Química de Oxigênio (DQO) foram obtidos por método colorimétrico, empregando-se espectrofotômetro modelo DR/2000 da HACH e bloco digestor para DQO. A metodologia descrita nos manuais do aparelho faz uso de digestão ácida em meio com dicromato de potássio e catalisadores, utilizando-se reta padrão existente na memória do aparelho.

6.4.3 Análises da composição do biogás produzido

A composição do biogás produzido em biodigestores abastecidos com vinhaça, foi analisada diariamente para determinação dos teores de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), em cromatógrafo de fase gasosa Finigan GC-2001, equipado com as colunas Porapack Q, Peneira Molecular e detector de condutividade térmica.

6.5 Ensaio de viabilidade econômica

Para efeitos dos cálculos de viabilidade econômica do projeto de biodigestão anaeróbia da vinhaça, foram adotados os seguintes parâmetros:

6.5.1 Empresa na qual foi desenvolvido o estudo de caso

A empresa na qual foi desenvolvido o estudo de caso é a Usina Diana, localizada no município de Avanhandava, comarca de Penápolis, região oeste do estado de São Paulo. A Usina Diana possui uma destilaria anexa com capacidade de produção de 500 m^3 de etanol por dia. Desde o início do experimento, a vinhaça foi coletada semanalmente nesta destilaria e transportada até o Laboratório de Biomassa do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP) de Jaboticabal à 257 km de distância.

6.5.2 Destinação da vinhaça para biodigestão anaeróbia

Para este caso foi considerado que toda a vinhaça produzida na empresa em estudo será direcionada para a biodigestão anaeróbia, ou seja, um total de 5.000 m^3 diários de vinhaça será destinado para produção de biogás a ser queimado posteriormente em turbo gerador para produção de energia elétrica.

6.5.3 Produção de biogás

De acordo com os testes efetuados durante o experimento foi considerado que a biodigestão anaeróbia ocorrerá em um biodigestor anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), com o afluente a uma temperatura de 55°C e capacidade de produção de $30.000 \text{ N.m}^3/\text{d}$ e eficiência de 80% de remoção de DQO, obtidos no experimento desenvolvido e fornecidos para Estudo Preliminar de Geração de Biometano a Partir da Vinhaça (PAQUES Brasil) demonstrado no Apêndice IV.

6.6 Definição do Experimento

6.6.1 Avaliação técnica

O experimento teve início em 15 de agosto de 2012 e término em 23 de agosto de 2013. Atendendo a proposta inicial do trabalho desenvolvido, foram analisados dados e resultados que possibilitaram o registro, a catalogação e análise de informações referentes a produção de biogás, a composição do biogás produzido e a DQO (Demanda Química de Oxigênio) do substrato na entrada (afluente) e na saída (efluente) do processo de biodigestão anaeróbia da vinhaça. Os dados obtidos e analisados, foram resultados de três tratamentos pré-estabelecidos e aplicados de forma distinta descritos a seguir: (1) pH do afluente, (2) utilização do reciclo como parte integrante do processo produtivo e (3) a temperatura de trabalho do afluente.

Para cada tratamento aplicado ao processo, avaliou-se os resultados obtidos referente a: (1) quantidade de biogás produzido em metros cúbicos (m^3) pela biodigestão anaeróbia da vinhaça, (2) composição do biogás produzido pela biodigestão anaeróbia da vinhaça em quantidades relativas (%) de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) e (3) a redução do potencial poluidor da vinhaça (DQO $mg\ l^{-1}$) após a biodigestão anaeróbia.

Neste período, todos os dados coletados foram obtidos de dois reatores UASB, (1) e (2) concomitantemente, em todos os tratamentos utilizados, Os resultados coletados e registrados se referem a ambos os reatores, possibilitando a comparação entre os dados obtidos, de acordo com o tratamento utilizado.

Na etapa 01, ou seja, no tratamento aplicado referente a influencia do pH, adotou-se como substrato a vinhaça *in natura* para o reator (1) e a vinhaça com pH neutro, ou seja, igual a sete para o reator (2).

Na etapa 02, ou seja, para o tratamento referente ao uso do reciclo, adotou-se como substrato a vinhaça *in natura* para o reator (1) e com uso do reciclo para o reator (2). Sendo que no reator (2), com uso do reciclo, foram adicionados 50% de vinhaça *in natura* e 50% de reciclo.

Na etapa 03, ou seja, no tratamento referente a influência da temperatura do afluente, foi utilizado como substrato a vinhaça *in natura* a temperatura ambiente no reator (1) e a vinhaça *in natura* aquecida a $55^\circ C$ no reator (2). Para o pré-aquecimento do afluente foi utilizado o aquecedor Solis, no qual o efluente é aquecido e equalizado a $55^\circ C$.

O detalhamento do experimento está descrita na Tabela 06 a seguir:

Tabela 6 – Detalhamento das etapas do experimento

INICIO 15/08/2012		TÉRMINO 23/08/2013			
tempo de retenção: 36 horas					
ETAPA 1		ETAPA 2		ETAPA 3	
Correção do pH 32 coletas		Uso do reciclo 24 coletas		Correção da temperatura 32 coletas	
14/09/2012 a 15/10/2012		11/04/2013 a 04/05/2013		26/05/2013 a 26/06/2013	
REATOR 1 vinhaça in natura	REATOR 2 vinhaça pH 7	REATOR 1 vinhaça in natura	REATOR 2 com 50% reciclo	REATOR 1 temperatura ambiente	REATOR 2 aquecida 55 o. C
Produção Biogás (m ³)	Produção Biogás (m ³)	Produção Biogás (m ³)	Produção Biogás (m ³)	Produção Biogás (m ³)	Produção Biogás (m ³)
Composição Biogás (% CH ₄ e CO ₂)	Composição Biogás (% CH ₄ e CO ₂)	Composição Biogás (% CH ₄ e CO ₂)	Composição Biogás (% CH ₄ e CO ₂)	Composição Biogás (% CH ₄ e CO ₂)	Composição Biogás (% CH ₄ e CO ₂)
Redução DQO (mg.l ⁻¹)	Redução DQO (mg.l ⁻¹)	Redução DQO (mg.l ⁻¹)	Redução DQO (mg.l ⁻¹)	Redução DQO (mg.l ⁻¹)	Redução DQO (mg.l ⁻¹)

Fonte: elaboração própria

Para todos os tratamentos aplicados no experimento, foram coletados dados comparando-se o reator 01 a com o reator 02 com tempo de retenção de 36 (trinta e seis) horas.

De posse de todos os resultados, os mesmos foram encaminhados a PAQUES Brasil, que forneceu o Estudo Preliminar para Geração de Biometano a partir da vinhaça demonstrado no Apêndice IV, para que fosse efetuado um estudo referente ao custo de implantação e manutenção de uma planta capaz de realizar a biodigestão anaeróbia da vinhaça, para o volume indicado e características obtidas no experimento realizado.

6.6.2 Avaliação Econômica

A avaliação econômica foi efetuada com base nos resultados da demonstração e cálculos realizados utilizando-se as seguintes ferramentas:

- Demonstração de Fluxo de Caixa (DFC), segundo Marion (1998);
- Cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), de acordo com Hoji (2010);
- Obtenção da Taxa Interna de Retorno (TIR), segundo Rebelatto (2004);
- Cálculo do Payback Descontado, de acordo com Otta (2002).

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atendendo ao objetivo geral do presente estudo, os resultados apresentados forneceram subsídios, após análise e discussões para se efetuar a Avaliação Técnica e a Avaliação Econômica da biodigestão anaeróbia da vinhaça de uma Destilaria que produz 500 m³ de etanol por dia.

7.1 Avaliação técnica

Como demonstrado na Tabela 06, o experimento foi executado em três etapas, sendo que para cada etapa foram coletados e analisados dados referentes a produção de biogás, composição do biogás e redução do potencial poluidor da vinhaça. A etapa 01, consistiu em analisar os resultados obtidos, comparando a biodigestão anaeróbia da vinhaça in natura, executada no reator 1 e a biodigestão anaeróbia da vinhaça com pH neutro, ou seja, corrigido para 7 no reator 2. A etapa 02, consistiu em analisar os resultados obtidos, comparando a biodigestão da vinhaça in natura no reator 01 e a biodigestão anaeróbia da vinhaça com adição de 50% de reciclo no reator 2. A etapa 03, consistiu em analisar os resultados obtidos, comparando a biodigestão anaeróbia da vinhaça na temperatura ambiente e a biodigestão anaeróbia da vinhaça a temperatura de 55°C.

7.1.1 - Etapa 1: correção do pH da vinhaça

Nesta fase da pesquisa, foram coletados dados referentes a quantidade de biogás produzido em metros cúbicos (m³), composição relativa do biogás

(%) de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) e a diferença entre a quantidade de DQO em mg l^{-1} do afluente (entrada) e do efluente (saída). Sendo que os dados foram obtidos concomitantemente de dois reatores, o reator 1 utilizando como substrato a vinhaça *in natura* e o reator 2 utilizando como substrato a vinhaça com pH neutro, ou seja, igual a 7.

Para efeito dos cálculos e obtenção dos resultados, de um total de 187 medições, com início em 15 de agosto de 2012 e término em 18 de fevereiro de 2013, foram consideradas 32 coletas, ou seja, as medições obtidas de 14 de setembro de 2012 até 15 de outubro de 2012, demonstradas pela planilha do Apêndice I. Foram consideradas estas medições em função de demonstrarem um período de um mês de trabalho contínuo dos reatores com estabilidade dos resultados propiciando condições para análises e estudos diante dos mesmos.

7.1.1.1 Produção de biogás

Salomon (2007), relata que a atividade das bactérias metanogênicas, produtoras de biogás, tem um rendimento ótimo na faixa de pH entre 6,6 e 7,4. De acordo com os resultados obtidos para análise, ou seja, as medidas de número 31 até 62, totalizando 32 medições, demonstradas no Apêndice I e compiladas na Tabela 7, aliados aos dados apresentados, no reator 2 cujo pH do afluente vinhaça foi corrigido para 7, determinou-se uma produção de biogás 97,5% maior do que no reator 1 no qual a vinhaça operou com pH *in natura*, ou seja, exatamente como produzido na coluna de destilação da destilaria.

Demonstra-se desta forma que a biodigestão anaeróbia da vinhaça apresenta maior produção de biogás quando o pH é neutralizado, ou seja, corrigido para 7.

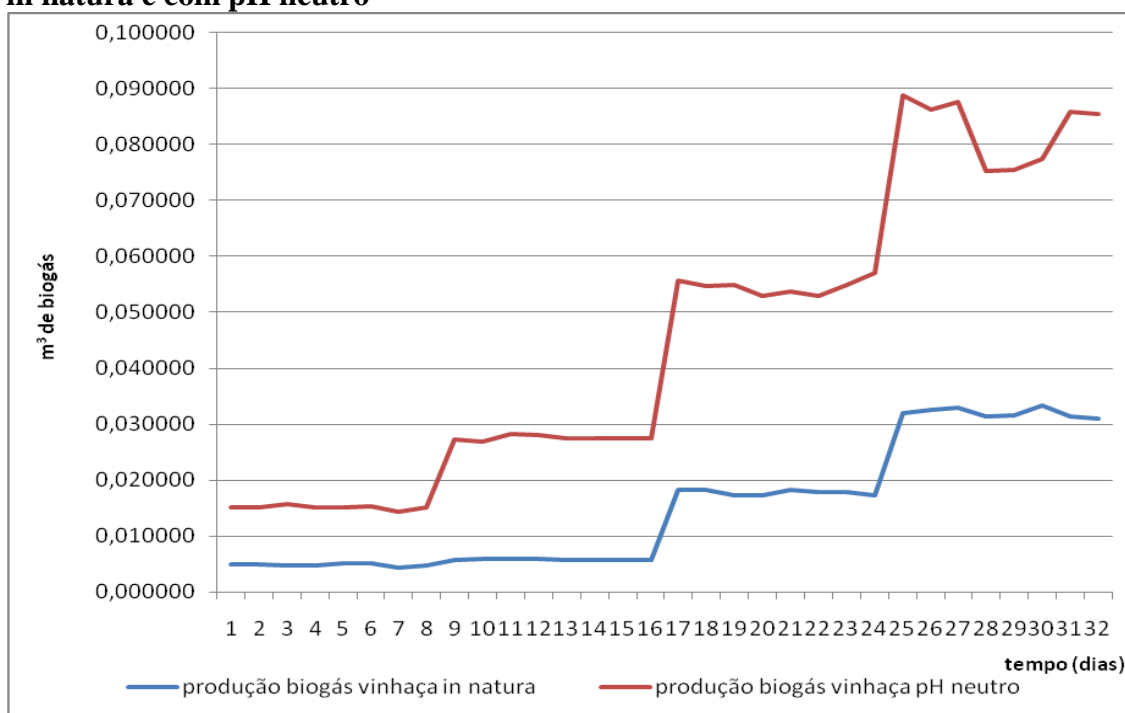
Salomon (2007) demonstra que o baixo pH da vinhaça que varia de 4 a 5, devido aos ácidos orgânicos presentes a mesma inibem consideravelmente a produção de metano. Tal relato se confirma, quando no experimento foi corrigido o pH da vinhaça para 7, obteve-se um aumento de 97,5% na produção de biogás. Neste período foram medidas as produções de biogás comparando-se a produção do reator 01 sem a correção do pH e a produção do reator 02 com a correção do pH, simultaneamente, ambos submetidos a mesmas condições de temperatura, pressão e tempo de retenção de 36 horas.

Tabela 7 – Produção de biogás (m³) em função do pH da vinhaça

Seqüência	Data	Produção Biogás m ³	
		Reator 1 pH <i>in natura</i>	Reator 2 pH neutro (7)
1	14/09/2012	0,004899	0,010250
2	15/09/2012	0,004978	0,010180
3	16/09/2012	0,004767	0,010940
4	17/09/2012	0,004857	0,010310
5	18/09/2012	0,005123	0,010060
6	19/09/2012	0,005099	0,010350
7	20/09/2012	0,004377	0,010030
8	21/09/2012	0,004856	0,010370
9	22/09/2012	0,005843	0,021390
10	23/09/2012	0,005852	0,021050
11	24/09/2012	0,005882	0,022370
12	25/09/2012	0,005892	0,022140
13	26/09/2012	0,005828	0,021750
14	27/09/2012	0,005832	0,021740
15	28/09/2012	0,005843	0,021730
16	29/09/2012	0,005843	0,021730
17	30/09/2012	0,018260	0,037440
18	01/10/2012	0,018290	0,036480
19	02/10/2012	0,017320	0,037560
20	03/10/2012	0,017340	0,035530
21	04/10/2012	0,018350	0,035340
22	05/10/2012	0,017830	0,035080
23	06/10/2012	0,017890	0,036990
24	07/10/2012	0,017350	0,039600
25	08/10/2012	0,031990	0,056740
26	09/10/2012	0,032500	0,053760
27	10/10/2012	0,032860	0,054720
28	11/10/2012	0,031300	0,043980
29	12/10/2012	0,031490	0,043970
30	13/10/2012	0,033310	0,043980
31	14/10/2012	0,031330	0,054490
32	15/10/2012	0,031060	0,054340
TOTAL		0,484241	0,956390
MÉDIA		0,015133	0,029887

Fonte: elaboração própria

Figura 7 - Produção diária de biogás (m^3) de biodigestores abastecidos com vinhaça in natura e com pH neutro



Fonte: elaboração própria

Os valores obtidos no experimento estão demonstrados no Apêndice I, e ilustrados no gráfico da Figura 7.

Este resultado permite projetar o consumo de insumos (NaOH) para uma situação real, em que são gerados em torno de 6 milhões de litros de vinhaça diariamente e esta vinhaça é direcionada para a biodigestão anaeróbia para produzir biogás e conseqüentemente energia elétrica.

7.1.1.2 Composição do biogás

Levando-se em conta os resultados obtidos para análise, ou seja, 32 medições, demonstradas no Apêndice I e compiladas na Tabela 8, de acordo com os dados apresentados, esta fase deste trabalho, por meio da medição diária, possibilita avaliar a composição do biogás produzido pela biodigestão anaeróbia da vinhaça pela metodologia da espectrofotometria de massa atômica.

No reator 2, cujo pH do afluente vinhaça foi corrigido para 7 constatou-se uma produção de CH_4 3,6 % maior do que no reator (1) cujo afluente vinhaça operou com pH *in natura*. No caso do CO_2 , no reator (2) com pH do afluente vinhaça corrigido para 7 constatou-se uma produção de CO_2 6,3 % menor do que no reator (1) com pH do afluente da vinhaça *in natura*.

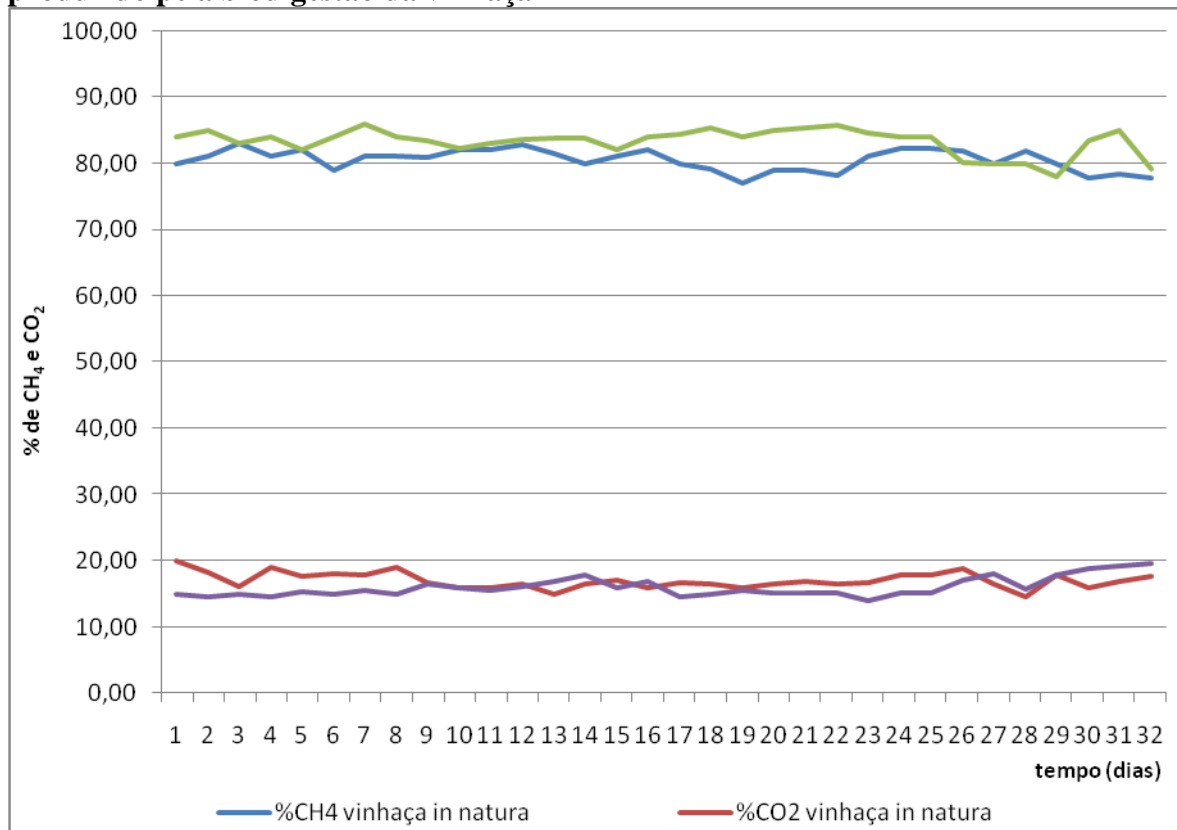
Tabela 8 – Composição do biogás (%) de CH₄ e CO₂ em função do pH da vinhaça

Seqüência	Data	Composição do Biogás			
		Reator 1 pH in natura		Reator 2 pH neutro (7)	
		%CH ₄	%CO ₂	%CH ₄	%CO ₂
1	14/09/2012	79,98	19,99	84,00	14,93
2	15/09/2012	81,03	18,33	85,01	14,56
3	16/09/2012	83,01	16,07	83,01	14,98
4	17/09/2012	81,03	19,04	84,03	14,54
5	18/09/2012	82,14	17,75	82,01	15,32
6	19/09/2012	79,00	17,99	84,06	14,91
7	20/09/2012	81,03	17,89	86,01	15,45
8	21/09/2012	81,02	18,97	84,02	14,98
9	22/09/2012	81,00	16,70	83,44	16,50
10	23/09/2012	82,00	16,00	82,37	15,96
11	24/09/2012	81,99	16,00	82,98	15,44
12	25/09/2012	82,81	16,59	83,59	15,99
13	26/09/2012	81,55	15,00	83,82	16,79
14	27/09/2012	80,00	16,57	83,77	17,90
15	28/09/2012	81,08	17,00	82,08	15,89
16	29/09/2012	82,00	16,00	83,98	16,89
17	30/09/2012	80,01	16,70	84,44	14,50
18	01/10/2012	79,23	16,53	85,37	14,96
19	02/10/2012	77,09	16,00	83,98	15,44
20	03/10/2012	79,00	16,59	84,97	15,10
21	04/10/2012	79,00	16,95	85,38	15,08
22	05/10/2012	78,23	16,57	85,90	15,09
23	06/10/2012	81,08	16,70	84,69	13,89
24	07/10/2012	79,65	16,69	84,40	13,89
25	08/10/2012	82,34	17,89	84,03	15,00
26	09/10/2012	81,89	18,91	80,09	17,00
27	10/10/2012	79,89	16,57	79,98	18,00
28	11/10/2012	81,89	14,57	79,88	15,78
29	12/10/2012	79,99	17,89	77,99	17,89
30	13/10/2012	77,81	15,99	83,44	18,91
31	14/10/2012	78,37	16,89	85,00	19,34
32	15/10/2012	77,88	17,67	79,11	19,67
MÉDIA		80,44	17,03	83,34	15,96

Fonte: elaboração própria

Os valores obtidos no experimento estão demonstrados no Apêndice I, e ilustrados no gráfico da Figura 8 a seguir.

Figura 6 - Composição do biogás: quantidade relativa (%) de CH₄ e CO₂ no biogás produzido pela biodigestão da vinhaça



Fonte: elaboração própria

De acordo com Reis (2012) a menor produção de metano ocorre devido a predominância na etapa acidogênica que propicia a formação de ácidos graxos voláteis, logo um pH ácido inibe consideravelmente a produção de metano durante a biodigestão anaeróbia e aumenta a produção de dióxido de carbono.

Então conforme demonstrado, quando se efetua a correção do pH do efluente para 7, ou seja, neutro, proporciona-se um aumento da produção de metano CH₄ em 3,6% e uma redução na emissão de dióxido de carbono CO₂ em 6,3%.

7.1.1.3 DQO da entrada e saída da vinhaça

Esta fase do experimento demonstra a diferença da Demanda Química de Oxigênio entre a entrada e a saída para o reator 1 utilizando a vinhaça *in natura* e para o reator 2 com o pH da vinhaça corrigido para 7, ou seja, pH neutro.

Conforme demonstrado nos dados apresentados no Apêndice I e compilados na Tabela 8, para o reator 1 utilizando vinhaça in natura, ocorre uma redução de 27,35% na DQO da entrada em relação a DQO da saída da vinhaça. Para o reator 2 utilizando vinhaça com pH 7, ou seja, neutro, ocorre uma redução de 33,43% na DQO da entrada em relação a DQO da saída

Tabela 9 – DQO (mgL⁻¹) da entrada e saída em função do pH

Seqüência	Data	DQO (mgL ⁻¹)			
		Reator 1 pH <i>in natura</i>		Reator 2 pH neutro (7)	
		DQO afluente	DQO efluente	DQO afluente	DQO efluente
1	14/09/2012	12.110	8.110	11.780	7.709
2	15/09/2012	11.990	7.890	12.500	7.213
3	16/09/2012	12.330	8.790	12.515	8.230
4	17/09/2012	11.980	7.530	11.680	9.020
5	18/09/2012	10.560	7.888	13.450	7.120
6	19/09/2012	12.340	7.530	11.930	7.007
7	20/09/2012	11.990	7.650	12.300	8.901
8	21/09/2012	12.729	11.209	13.200	9.900
9	22/09/2012	12.678	11.210	11.978	9.810
10	23/09/2012	12.780	11.170	12.500	9.812
11	24/09/2012	12.399	11.298	12.515	9.971
12	25/09/2012	12.980	10.780	12.919	9.913
13	26/09/2012	12.670	11.214	13.450	10.001
14	27/09/2012	12.640	11.216	12.919	9.813
15	28/09/2012	12.555	11.176	12.830	9.807
16	29/09/2012	15.643	10.109	13.729	8.300
17	30/09/2012	15.324	11.210	13.978	8.519
18	01/10/2012	15.789	10.170	13.900	7.902
19	02/10/2012	13.239	11.298	13.515	7.890
20	03/10/2012	16.079	10.780	13.919	8.200
21	04/10/2012	17.654	11.214	13.450	8.120
22	05/10/2012	15.456	10.126	13.919	7.890
23	06/10/2012	15.982	11.176	13.830	8.909
24	07/10/2012	22.450	15.324	22.178	14.567
25	08/10/2012	22.345	17.890	22.314	14.332
26	09/10/2012	21.567	15.432	21.345	14.432
27	10/10/2012	20.890	15.632	20.980	13.256
28	11/10/2012	23.451	15.970	21.367	14.378
29	12/10/2012	23.380	15.925	22.067	14.452
30	13/10/2012	22.134	15.789	22.675	14.567
31	14/10/2012	22.456	15.389	21.890	15.678
32	15/10/2012	21.345	12.322	21.567	13.980
MÉDIA		15.935	11.576	15.472	10.300

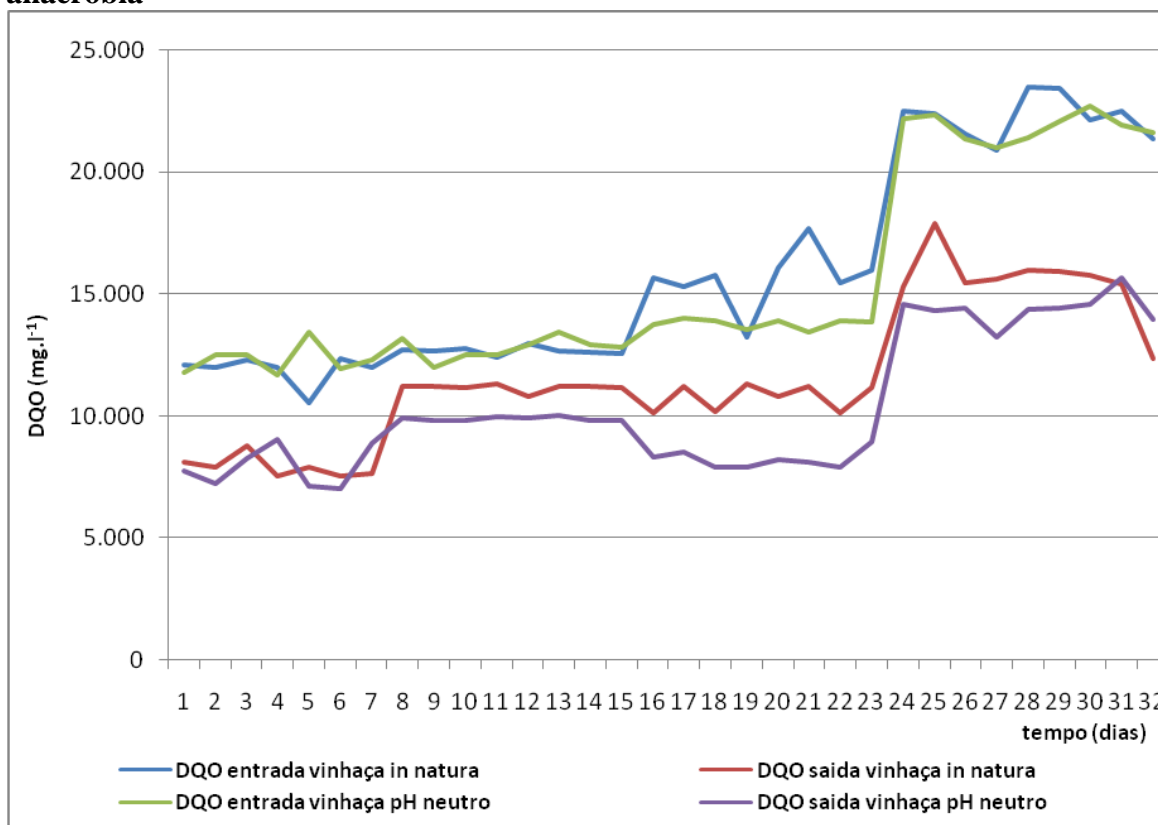
Fonte: elaboração própria

De acordo com Risk (2013), os resultados de remoção de DQO aumentam à medida que o pH torna-se mais próximo da neutralidade, confirmando assim os resultados obtidos nesta fase do experimento.

Logo, de acordo com os dados obtidos, quando se corrige o pH do substrato para 7, ou seja, neutralizando o mesmo, ocorre uma redução do potencial poluidor do efluente de 27,35% para 33,43%.

Tais dados estão ilustrados no gráfico da Figura 7 a seguir.

Figura 7 - Quantidade de DQO (mg l^{-1}) da entrada e saída da vinhaça na biodigestão anaeróbia



Fonte: elaboração própria

Confirmando Risk (2013) o processo de biodigestão anaeróbia da vinhaça reduz consideravelmente o potencial poluidor do substrato, principalmente quando se equilibra o pH na entrada do mesmo.

7.1.2 Etapa 2: uso do reciclo

Nesta fase da pesquisa, foram coletados dados referentes a quantidade de biogás produzido em m^3 , composição relativa do biogás em % de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) e a diferença entre a quantidade de DQO em mg l^{-1} do afluente e do efluente. Sendo que os dados foram obtidos concomitantemente de dois

reatores, o reator 1 utilizando como substrato a vinhaça *in natura* e o reator 2 com adição de 50% de reciclo.

Para efeito dos cálculos e obtenção dos resultados, de um total de 186 medições, com início em 19 de fevereiro de 2013 e término em 23 de agosto de 2013, foram consideradas 16 coletas, ou seja, as medições obtidas de 19 de abril de 2013 até 04 de maio de 2013, demonstradas pela planilha do Apêndice II. Levaram-se em conta tais medições em função de demonstrarem um período de um mês de trabalho contínuo dos reatores com estabilidade dos resultados propiciando condições para análises e estudos diante dos dados obtidos.

Neste período foram acompanhadas as operações do reator 1 operando com vinhaça *in natura* e reator 2 com adição de 50% do reciclo, simultaneamente, ambos submetidos a mesmas condições, temperatura, pressão e tempo de retenção de 36 horas.

7.1.2.1 Produção de biogás

Levando-se em conta os resultados obtidos para análise, ou seja, as medidas de número 39 até 54, totalizando 16 medições, demonstradas no Apêndice II e compiladas na Tabela 10.

Ramirez (2004), demonstra que com o aumento no valor da taxa de reciclo conseqüentemente aumenta o desempenho bacteriano, por promover maior contato entre o substrato e a biomassa e assim se ter uma maior produtividade microbiana, aumentando assim a uniformidade do meio. Este contato mais uniforme, propicia o desenvolvimento e catalisa o processo de biodigestão anaeróbia, resultando assim uma quantidade maior de biogás.

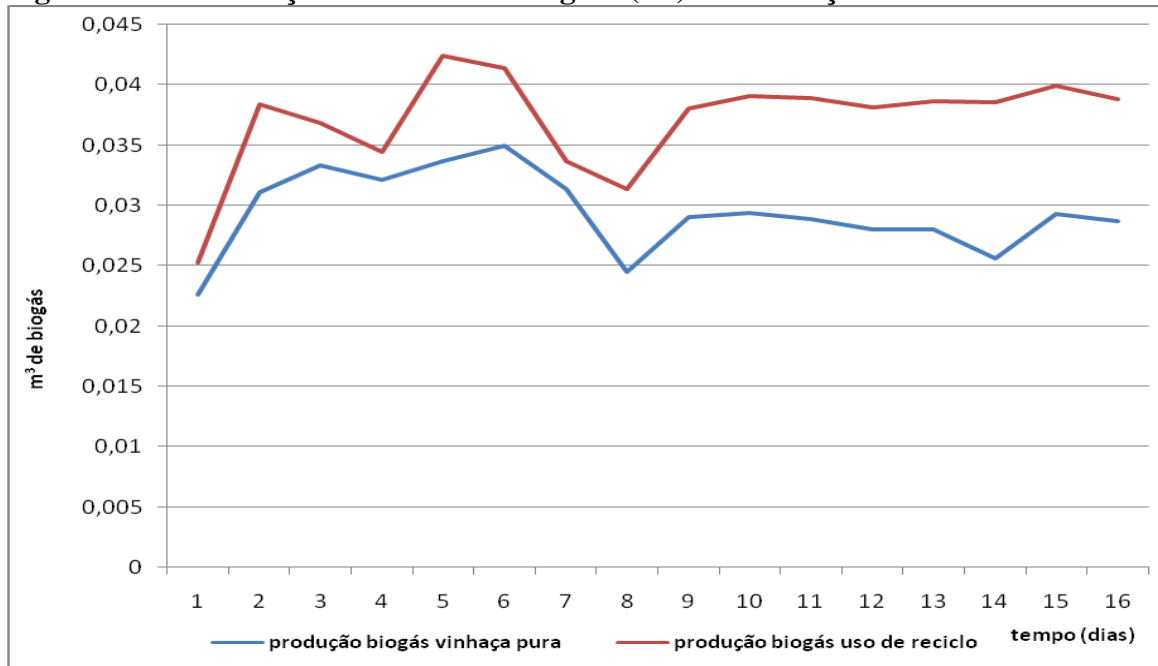
De acordo com os dados apresentados, no reator 2 com utilização do reciclo determinou-se uma produção de biogás 26% maior do que no reator 1 que operou com vinhaça *in natura*, ou seja, exatamente como gerada na coluna de destilação da destilaria, conforme dados coletados e demonstrados na Tabela 10 a seguir.

Tabela 10 – Produção de biogás (m³) em função do uso do reciclo

Seqüência	Data	Produção Biogás m ³	
		Reator 1 vinhaça pura	Reator 2 com 50% reciclo
1	19/04/2013	0,02264	0,02523
2	20/04/2013	0,03113	0,03831
3	21/04/2013	0,03332	0,03681
4	22/04/2013	0,03213	0,03438
5	23/04/2013	0,03368	0,04237
6	24/04/2013	0,03499	0,04137
7	25/04/2013	0,03135	0,03364
8	26/04/2013	0,02455	0,03133
9	27/04/2013	0,02904	0,03799
10	28/04/2013	0,02943	0,03899
11	29/04/2013	0,02892	0,03889
12	30/04/2013	0,02808	0,03808
13	01/05/2013	0,02802	0,03856
14	02/05/2013	0,02568	0,03855
15	03/05/2013	0,02933	0,03991
16	04/05/2013	0,02877	0,0388
TOTAL		0,47106	0,59321
MÉDIA		0,02944	0,03708

Fonte: elaboração própria

Os valores obtidos no experimento estão demonstrados no Apêndice II, e ilustrados no gráfico da Figura 8 a seguir.

Figura 8 - Produção diária de biogás (m³) em função do uso do reciclo

Fonte: elaboração própria

Verificou-se a produção de biogás no reator 02 com uso do reciclo em média 26% maior do que o reator 01 utilizando a vinhaça em natura., confirmando assim Ramirez (2004).

7.1.2.2 Composição do biogás

De acordo com os dados apresentados, através da medição diária, se obtém a composição do biogás produzido pela biodigestão anaeróbia da vinhaça pela metodologia da espectrofotometria de massa atômica de acordo com os dados apresentados.

No reator 2, com utilização do reciclo constatou-se uma produção de CH₄ 1,8% maior do que no reator 1 que operou com vinhaça *in natura*. No caso do CO₂, no reator 2 com utilização do reciclo constatou-se uma produção de CO₂ 2,4% menor do que no reator 1 que operou com vinhaça *in natura*. Estes dados são demonstrados conforme Tabela 11 a seguir.

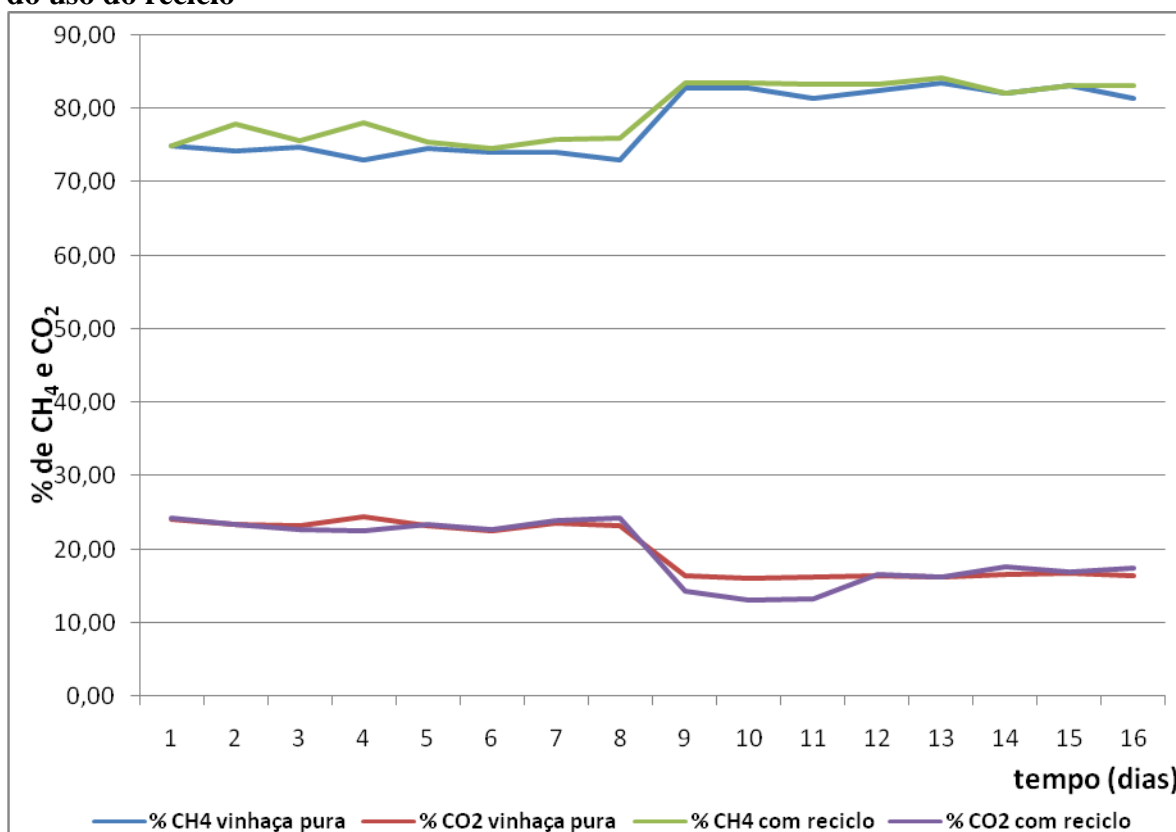
Tabela 11 – Composição do biogás (%) de CH₄ e CO₂ em função do uso do reciclo

Seqüência	Data	Composição do Biogás			
		Reator 1 vinhaça pura		Reator 2 com 50% reciclo	
		%CH ₄	%CO ₂	%CH ₄	%CO ₂
1	19/04/2013	74,84	24,14	74,84	24,18
2	20/04/2013	74,19	23,43	77,89	23,38
3	21/04/2013	74,67	23,26	75,67	22,61
4	22/04/2013	73,01	24,52	78,01	22,52
5	23/04/2013	74,54	23,31	75,43	23,31
6	24/04/2013	74,06	22,63	74,56	22,63
7	25/04/2013	74,08	23,69	75,78	23,89
8	26/04/2013	73,03	23,22	76,03	24,22
9	27/04/2013	82,76	16,43	83,62	14,31
10	28/04/2013	82,65	16,14	83,52	13,14
11	29/04/2013	81,34	16,33	83,41	13,33
12	30/04/2013	82,36	16,52	83,31	16,52
13	01/05/2013	83,43	16,33	84,26	16,33
14	02/05/2013	82,01	16,63	82,11	17,63
15	03/05/2013	83,02	16,91	83,21	16,91
16	04/05/2013	81,32	16,42	83,20	17,42
MÉDIA		78,21	19,99	79,68	19,52

Fonte: elaboração própria

Os valores obtidos no experimento estão demonstrados no Apêndice II, e ilustrados no gráfico da Figura 9 a seguir.

Figura 9 - Composição do biogás: quantidade relativa (%) de CH₄ e CO₂ em função do uso do reciclo



Fonte: elaboração própria

Logo conforme demonstrado, utilizando-se a adição do reciclo, se produz 1,8% a mais de CH₄ (metano) e 2,4% menos CO₂ (dióxido de carbono).

Reis (2012), relata que a recirculação da fração líquida, pode levar ao aumento das concentrações de CH₄ e CO₂ no biogás, ou seja, a adição do reciclo melhora a capacidade de produção de metano e conseqüentemente reduz a emissão de poluentes como o dióxido de carbono.

7.1.2.3 DQO da entrada e saída da vinhaça

Esta fase do experimento demonstra a diferença da Demanda Química de Oxigênio entre a entrada e a saída do reator 1 utilizando a vinhaça pura e para o reator 2 utilizando a vinhaça com adição do reciclo.

Conforme demonstrado nos dados apresentados no Apêndice II e compiladas na Tabela 12, para o reator 1 utilizando vinhaça pura, apresentou uma redução de 50% na DQO da saída da vinhaça em relação a DQO da entrada. O reator 2 com 50% de reciclo, também apresentou uma redução de 50% na DQO da vinhaça em relação a DQO da saída.

Logo, de acordo com os dados obtidos, existe uma redução do DQO considerável no efluente em relação ao afluente após a biodigestão anaeróbia, embora em números relativos, ou seja a uma taxa de redução de 50%, entre entrada e saída, para o reator 2 torna-se mais interessante, porque com adição do reciclo nota-se que a DQO da entrada da vinhaça já é menor, reduzindo assim o potencial poluidor do resíduo antes da biodigestão anaeróbia.

Ramirez (2004), relata que reatores UASB obtêm melhor eficiência com uma taxa de reciclo de 2:1 e Salomon (2007), demonstra que o reciclo influencia na atividade anaeróbia, possibilitando maior eficiência na remoção da DQO.

Então se comparada a DQO da entrada da vinhaça in natura com a DQO da saída da vinhaça com reciclo, houve uma redução de 70% no potencial poluidor da vinhaça com a biodigestão anaeróbia e adição de 50% de reciclo. Confirmando desta forma Ramirez (2004) e Salomon (2007), quando ressaltam a importância do uso do reciclo na biodigestão anaeróbia.

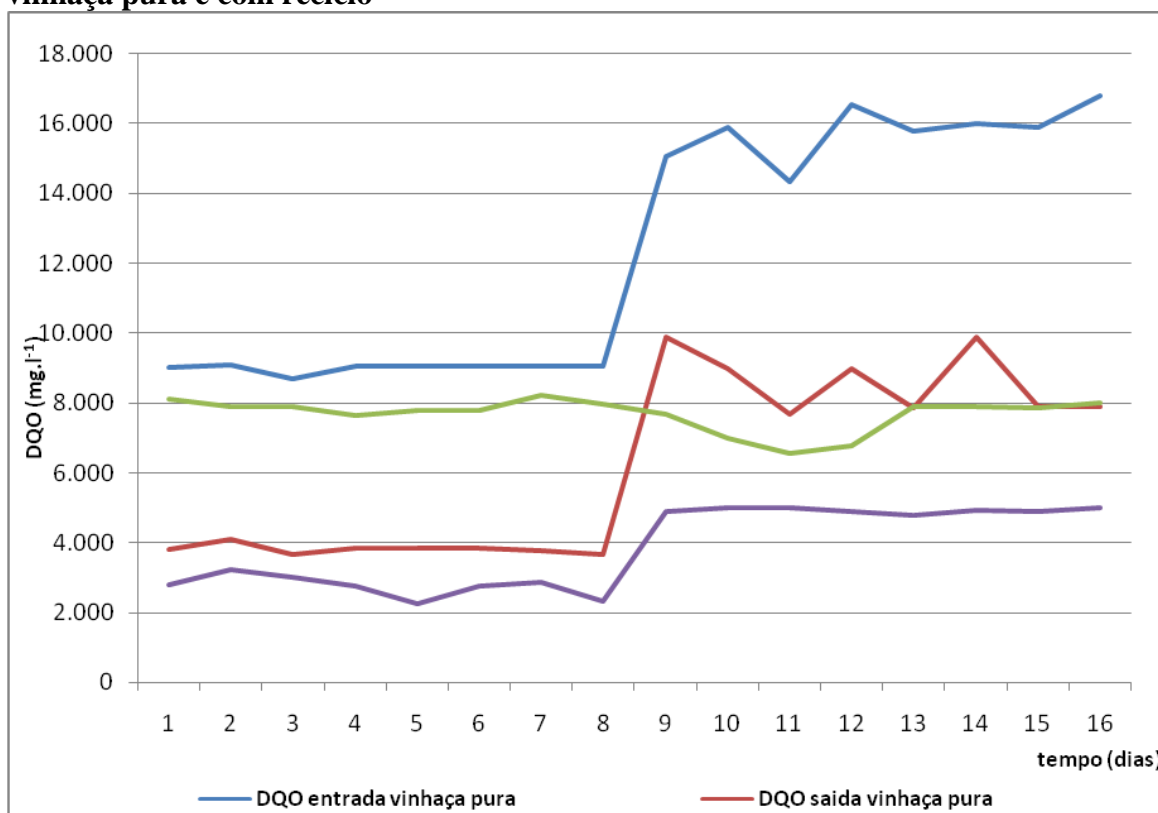
Tabela 12 - DQO (mg^l⁻¹) da entrada e saída com e sem reciclo

Seqüência	Data	DQO do efluente			
		Reator 1 vinhaça pura		Reator 2 com 50% reciclo	
		DQO afluente	DQO efluente	DQO afluente	DQO efluente
1	19/04/2013	9.012	3.801	8.120	2.799
2	20/04/2013	9.087	4.101	7.890	3.245
3	21/04/2013	8.700	3.672	7.899	2.999
4	22/04/2013	9.061	3.870	7.656	2.765
5	23/04/2013	9.079	3.840	7.809	2.256
6	24/04/2013	9.050	3.845	7.789	2.768
7	25/04/2013	9.045	3.782	8.230	2.878
8	26/04/2013	9.079	3.678	7.990	2.345
9	27/04/2013	15.050	9.878	7.670	4.891
10	28/04/2013	15.890	8.979	6.980	4.990
11	29/04/2013	14.323	7.677	6.555	4.998
12	30/04/2013	16.545	8.978	6.789	4.890
13	01/05/2013	15.789	7.867	7.890	4.789
14	02/05/2013	15.999	9.888	7.889	4.934
15	03/05/2013	15.890	7.886	7.878	4.876
16	04/05/2013	16.789	7.889	7.999	4.987
TOTAL		198.388	99.631	123.033	61.410
MÉDIA		12.399	6.227	7.690	3.838

Fonte: elaboração própria

Tais dados estão ilustrados no gráfico da Figura 10 a seguir.

Figura 10 - DQO (mg.l^{-1}) da entrada e da saída de biodigestores abastecidos com vinhaça pura e com reciclo



Fonte: elaboração própria

7.1.3 Etapa 3: correção da temperatura da vinhaça

Nesta fase da pesquisa, foram coletados dados referentes a quantidade de biogás produzido em metros cúbicos (m^3), composição relativa do biogás (%) de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) e a diferença entre a quantidade de DQO em mg.l^{-1} do afluente e do efluente. Os dados foram obtidos concomitantemente de dois reatores, o reator (1) utilizando como substrato a vinhaça na temperatura ambiente e o reator (2) utilizando como substrato a vinhaça aquecida a $55\text{ }^\circ\text{C}$. Para efeito dos cálculos e obtenção dos resultados, de um total de 186 medições, com início em 19 de fevereiro de 2013 e término em 23 de agosto de 2013, foram consideradas trinta e duas 32 coletas, ou seja, as medições obtidas de 26 de maio de 2013 até 26 de junho de 2013, demonstradas pela planilha do Apêndice III. Foram levadas em conta tais medições em função de demonstrarem um período de um mês de trabalho contínuo dos reatores com estabilidade dos resultados propiciando condições para análises e estudos diante dos mesmos.

7.1.3.1 Produção de biogás

Levando-se em conta os resultados obtidos para análise, ou seja, as medidas de número 31 até 62, totalizando 32 medições, demonstradas no Apêndice III, e compilados na Tabela 13.

Tabela 13 - Produção de biogás (m³) em função da temperatura da vinhaça

Seqüência	Data	Produção Biogás m ³	
		Reator 1 temperatura ambiente	Reator 2 aquecido 55°C
1	26/05/2013	0,03214	0,04713
2	27/05/2013	0,03517	0,04710
3	28/05/2013	0,03521	0,04832
4	29/05/2013	0,03567	0,04826
5	30/05/2013	0,03571	0,04833
6	31/05/2013	0,03416	0,05680
7	01/06/2013	0,03412	0,04283
8	02/06/2013	0,03578	0,04805
9	03/06/2013	0,03052	0,05705
10	04/06/2013	0,03904	0,05765
11	05/06/2013	0,03900	0,05705
12	06/06/2013	0,03905	0,05770
13	07/06/2013	0,03807	0,05724
14	08/06/2013	0,04239	0,05773
15	09/06/2013	0,04004	0,05793
16	10/06/2013	0,04404	0,05833
17	11/06/2013	0,03714	0,06275
18	12/06/2013	0,03812	0,07133
19	13/06/2013	0,03812	0,07204
20	14/06/2013	0,03879	0,0798
21	15/06/2013	0,03892	0,07833
22	16/06/2013	0,03817	0,08933
23	17/06/2013	0,03814	0,07328
24	18/06/2013	0,03812	0,07022
25	19/06/2013	0,03176	0,07184
26	20/06/2013	0,03014	0,07715
27	21/06/2013	0,03011	0,07791
28	22/06/2013	0,03069	0,07811
29	23/06/2013	0,03086	0,07361
30	24/06/2013	0,03069	0,07471
31	25/06/2013	0,03061	0,07104
32	26/06/2013	0,03012	0,07266
TOTAL		1,14061	2,04161
MÉDIA		0,03564	0,06380

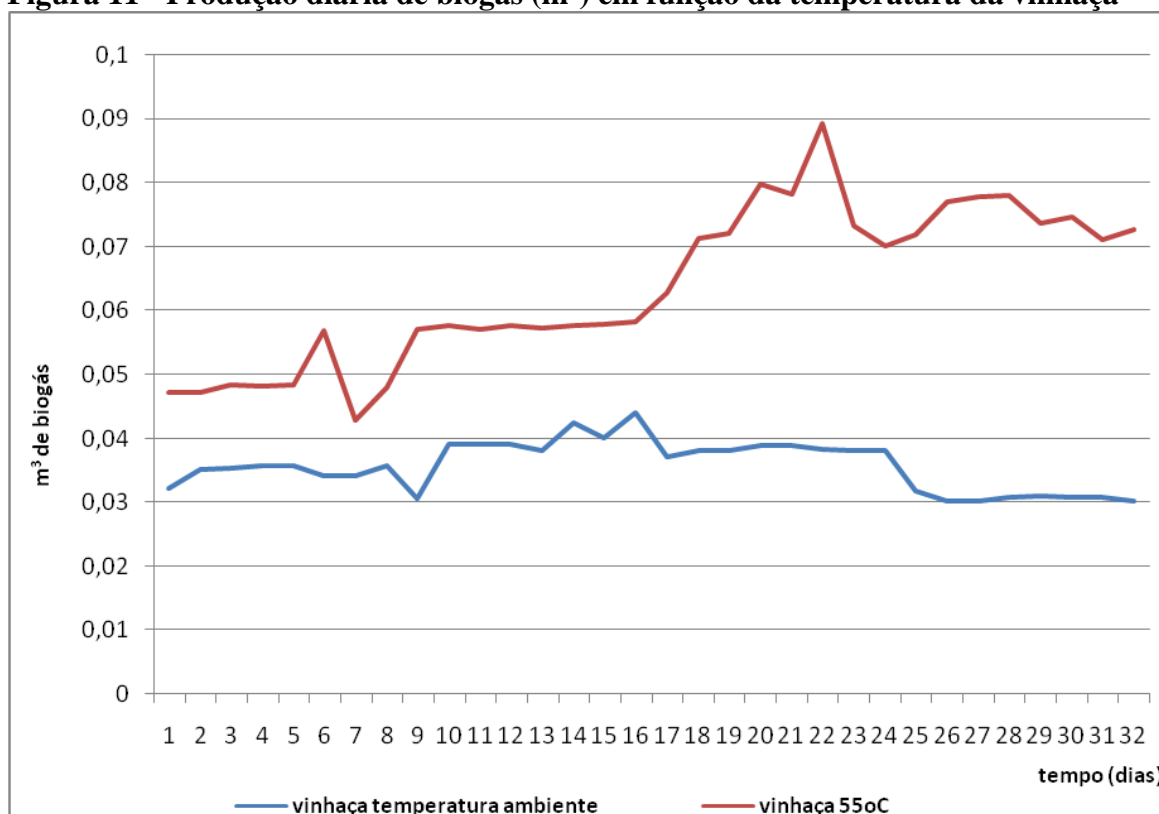
Fonte: elaboração própria

Para o pré-aquecimento do efluente foi utilizado o aquecedor Solis, no qual o efluente é aquecido e equalizado a 55°C. A operação do reator 2 com utilização da vinhaça aquecida a 55°C gerou uma produção de biogás 79% maior do que no reator 1 que operou com vinhaça na temperatura ambiente.

De acordo com Castro (1998), para a faixa termofílica (45-65°C), a temperatura ótima se situa em torno de 55°C, possibilitando assim maiores rendimentos dos biodigestores anaeróbios UASB.

Os valores obtidos no experimento estão demonstrados no Apêndice III, e ilustrados no gráfico da Figura 11 a seguir.

Figura 11 - Produção diária de biogás (m³) em função da temperatura da vinhaça



Fonte: elaboração própria

Salomon (2007) demonstra que a produção do biogás atinge seu maior nível na faixa termofílica, sendo que a temperatura ideal para o trabalho com a biodigestão da vinhaça é de 55°C.

Nesta fase do experimento verificou-se a produção de biogás no reator 02 que operou com a vinhaça aquecida a 55°C em média 79% maior do que o reator 01 que operou com vinhaça na temperatura ambiente.

7.1.3.2 Composição do biogás

Levando-se em conta os resultados obtidos para análise, ou seja, as medidas de número 31 até 62, totalizando 32 medições, demonstradas no Apêndice III e compilados na Tabela 14.

Tabela 14 - Composição do biogás (%) de CH₄ e CO₂ em função da temperatura da vinhaça

Seqüência	Data	Composição do Biogás			
		Reator 1 temperatura ambiente		Reator 2 aquecido 55°C	
		%CH ₄	%CO ₂	%CH ₄	%CO ₂
1	26/05/2013	74,09	24,09	81,36	16,73
2	27/05/2013	75,23	23,98	81,09	16,28
3	28/05/2013	72,09	25,01	81,17	16,34
4	29/05/2013	71,89	23,55	81,62	16,33
5	30/05/2013	72,26	22,41	82,69	16,61
6	31/05/2013	73,96	24,71	82,63	16,81
7	01/06/2013	74,87	23,88	80,34	16,90
8	02/06/2013	75,88	24,22	80,45	16,80
9	03/06/2013	68,39	30,90	73,09	23,34
10	04/06/2013	67,89	29,89	72,65	23,43
11	05/06/2013	70,01	31,01	73,24	22,98
12	06/06/2013	67,89	29,98	72,34	23,34
13	07/06/2013	68,98	31,01	73,09	22,09
14	08/06/2013	70,09	31,01	72,34	23,45
15	09/06/2013	66,51	31,06	73,77	24,67
16	10/06/2013	67,99	32,56	73,67	23,56
17	11/06/2013	61,23	34,96	63,45	26,34
18	12/06/2013	61,09	33,90	64,56	28,43
19	13/06/2013	61,72	34,76	65,67	26,33
20	14/06/2013	60,23	33,45	64,23	28,33
21	15/06/2013	65,01	32,56	64,24	27,21
22	16/06/2013	62,32	32,90	67,34	26,93
23	17/06/2013	62,34	34,34	64,23	27,47
24	18/06/2013	60,45	35,80	64,23	28,36
25	19/06/2013	65,60	38,96	74,56	25,63
26	20/06/2013	67,89	38,90	72,43	25,68
27	21/06/2013	61,72	38,76	71,10	25,63
28	22/06/2013	65,09	39,45	74,52	26,83
29	23/06/2013	65,01	38,76	73,13	26,72
30	24/06/2013	62,32	38,99	74,51	26,93
31	25/06/2013	66,05	39,34	73,20	26,57
32	26/06/2013	66,80	37,99	73,45	25,18
MÉDIA		67,28	31,97	73,14	23,38

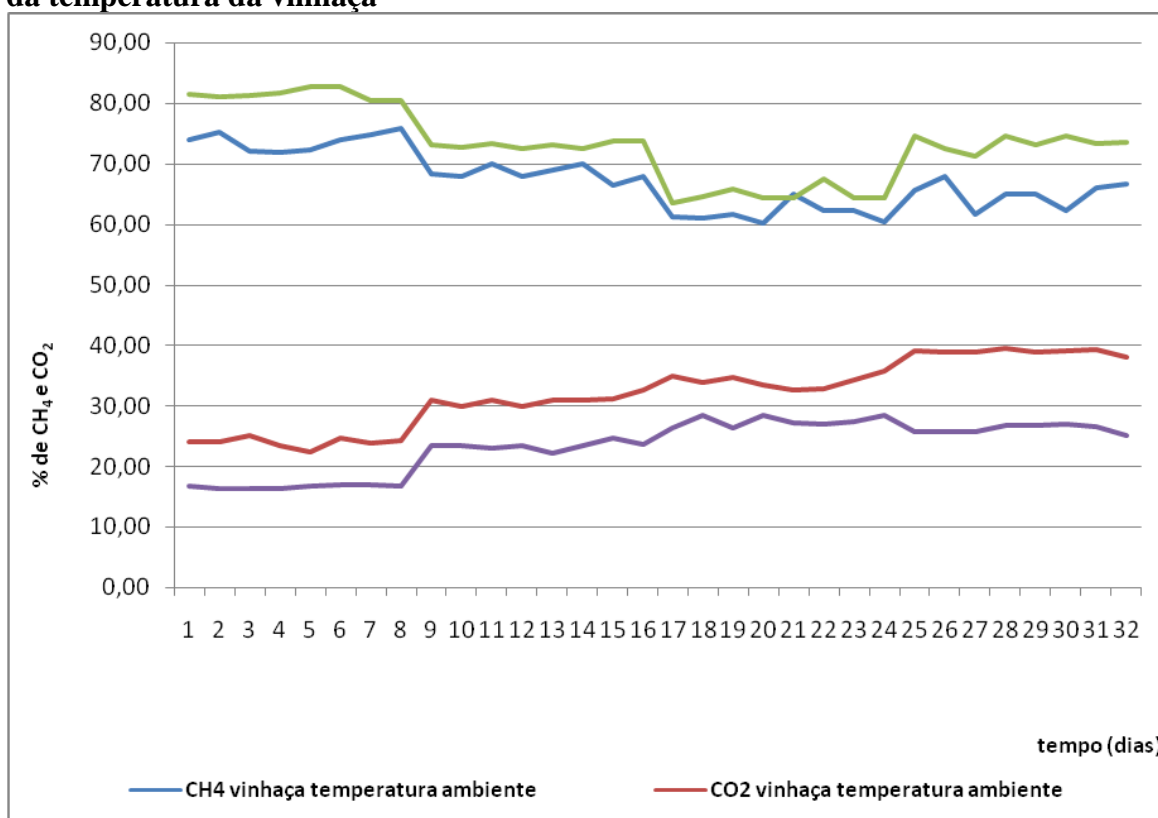
Fonte: elaboração própria

De acordo com os dados apresentados, através da medição diária, possibilitam avaliar a composição do biogás produzido pela biodigestão anaeróbia da vinhaça.

No reator 2 com utilização de vinhaça aquecida a 55°C constatou-se uma produção de CH₄ 9% maior do que no reator 1 cujo efluente vinhaça operou com temperatura ambiente. No caso do CO₂, no reator 2 com a vinhaça aquecida a 55°C constatou-se uma produção de CO₂ 27% menor do que no reator 1 que operou com vinhaça a temperatura ambiente.

Os valores obtidos no experimento estão demonstrados no Apêndice III, e ilustrados no gráfico da Figura 12 a seguir.

Figura 12 - Composição do biogás: quantidade relativa (%) de CH₄ e CO₂ em função da temperatura da vinhaça



Fonte: elaboração própria

Souza (1992), relata que a quantidade relativa de metano produzido pela biodigestão anaeróbia da vinhaça, aumenta quando biodigestores trabalham na fase termofílica de 55 a 57 °C, sendo inversamente válido para a quantidade de dióxido de carbono, confirmado no experimento, quando o reator 2 operou com vinhaça aquecida a 55°C.

7.1.3.3 DQO da entrada e saída da vinhaça

Nesta fase do experimento ficou demonstrada a diferença da Demanda Química de Oxigênio entre a entrada e saída da vinhaça no reator 1 utilizando a vinhaça na temperatura ambiente e no reator 2 utilizando a vinhaça aquecida a 55°C.

Tabela 15 - DQO (mgL⁻¹) da entrada e saída em função da temperatura

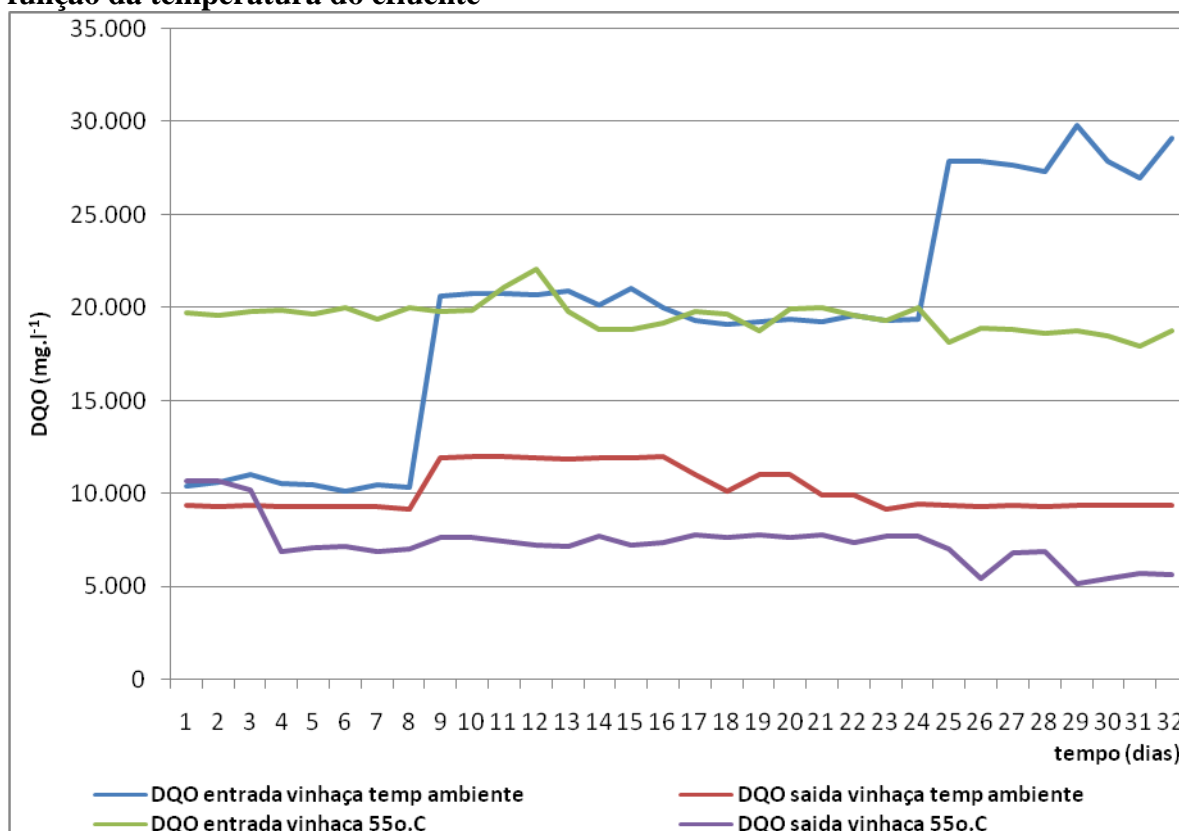
Seqüência	Data	DQO do substrato			
		Reator 1 temperatura ambiente		Reator 2 aquecido 55°C	
		DQO afluente	DQO efluente	DQO afluente	DQO efluente
1	26/05/2013	10.430	9.323	19.708	10.670
2	27/05/2013	10.578	9.245	19.545	10.690
3	28/05/2013	11.003	9.342	19.789	10.234
4	29/05/2013	10.501	9.234	19.879	6.899
5	30/05/2013	10.456	9.250	19.656	7.090
6	31/05/2013	10.121	9.252	19.989	7.123
7	01/06/2013	10.456	9.258	19.345	6.899
8	02/06/2013	10.345	9.123	19.990	7.011
9	03/06/2013	20.609	11.922	19.809	7.646
10	04/06/2013	20.789	11.989	19.878	7.645
11	05/06/2013	20.789	11.970	21.080	7.433
12	06/06/2013	20.676	11.902	22.082	7.223
13	07/06/2013	20.897	11.878	19.789	7.124
14	08/06/2013	20.113	11.901	18.776	7.689
15	09/06/2013	21.009	11.900	18.797	7.232
16	10/06/2013	19.991	11.980	19.177	7.334
17	11/06/2013	19.303	10.987	19.766	7.750
18	12/06/2013	19.123	10.111	19.670	7.659
19	13/06/2013	19.245	11.009	18.750	7.789
20	14/06/2013	19.345	10.987	19.890	7.654
21	15/06/2013	19.232	9.888	19.980	7.761
22	16/06/2013	19.564	9.878	19.545	7.345
23	17/06/2013	19.322	9.134	19.323	7.700
24	18/06/2013	19.345	9.433	19.989	7.688
25	19/06/2013	27.899	9.323	18.122	6.999
26	20/06/2013	27.898	9.245	18.900	5.443
27	21/06/2013	27.656	9.342	18.798	6.788
28	22/06/2013	27.300	9.234	18.567	6.899
29	23/06/2013	29.808	9.300	18.762	5.143
30	24/06/2013	27.900	9.355	18.443	5.445
31	25/06/2013	26.980	9.324	17.898	5.677
32	26/06/2013	29.099	9.342	18.767	5.644
TOTAL		627.782	325.361	622.459	235.326
MÉDIA		19.618	10.168	19.452	7.354

Fonte: elaboração própria

Conforme demonstrado nos dados apresentados no Apêndice III e compilados na Tabela 15, para o reator 1 utilizando vinhaça a temperatura ambiente, apresentou uma redução de 48,2% na DQO do efluente em relação a DQO do afluente. Para o reator 2 utilizando vinhaça aquecida a temperatura de 55°C, apresentou uma redução de 62,2% na DQO do efluente em relação a DQO do afluente.

Tais dados estão ilustrados no gráfico da Figura 13 a seguir.

Figura 13 - Quantidade de DQO (mg.l^{-1}) da entrada e da saída do biodigestor em função da temperatura do efluente



Fonte: elaboração própria

Bruno (2007) demonstra que a atividade dos microrganismos é muito dependente da temperatura e que o nível ótimo associado à digestão anaeróbia é na faixa termofílica (50 a 55°C), sendo que a remoção de matéria orgânica e sulfato teve seu valor máximo nesta faixa.

Salomon (2007), relata que a remoção da DQO da vinhaça ocorre em maiores índices quando a biodigestão anaeróbia da vinhaça ocorre na fase termofílica.

Logo, de acordo com os dados obtidos, existe uma redução do DQO considerável no efluente, ou seja, após a biodigestão anaeróbia, tanto para o reator

que opera com vinhaça a temperatura ambiente quanto para o reator que opera com vinhaça aquecida a 55°C.

7.2 Avaliação econômica

De acordo com os dados obtidos e parâmetros apresentados no Estudo Preliminar demonstrado no Apêndice IV (PAQUES Brasil Sistemas para Tratamento de Efluente Ltda.) a seguir:

✓ Premissas básicas:

- Gerar biogás a partir de vinhaça de destilaria produtora de etanol.
- Vazão de vinhaça: 5.000 m³/dia, ou 208 m³/h
- pH da vinhaça: 7
- Carga Orgânica: 100.000 kg.DQO.dia⁻¹
- Eficiência de remoção DQO: 70%
- Quantidade relativa de CH₄: 80%
- Quantidade relativa de CO₂: 20%
- 1 m³ de vinhaça: 4,8 N. m³ de CH₄
- 1 m³ de biogás: 2,4 kWh de eletricidade
- Valor de mercado 1 MWh: R\$ 450,00

✓ Investimento inicial (item 16 do ANEXO IV): R\$18.900.000,00

Despesas:

- Energia elétrica: 63,8 kWh = R\$ 58.000,00/ano
- NaOH: 425 kg/dia = R\$ 308.000/ano
- Água: 4,25 m³/dia = R\$ 9.000/ano
- Mão de obra: R\$ 220.000/ano

✓ Total de despesas: R\$ 595.000,00/ano

Receitas:

- Geração de biogás: 30.100 N. m³biogás/dia = 1.255 N. m³biogás/h
- Eletricidade: (2.380 kWh x 24h x 180 dias)/1.000 =10.282MWh/ano

- Valor: $10.282\text{MWh/ano} \times \text{R\$ } 450,00 = \text{R\$ } 4.626.720,00/\text{ano}$

✓ **Total de receitas: R\$ 4.626.720,00/ano**

Ganho anual:

- Ganho anual: $\text{R\$ } (4.626.720,00 - 595.000,00)$

✓ **Ganho anual = R\$ 4.031.720,00**

✓ **Taxa de juros: 7,5% ao ano**

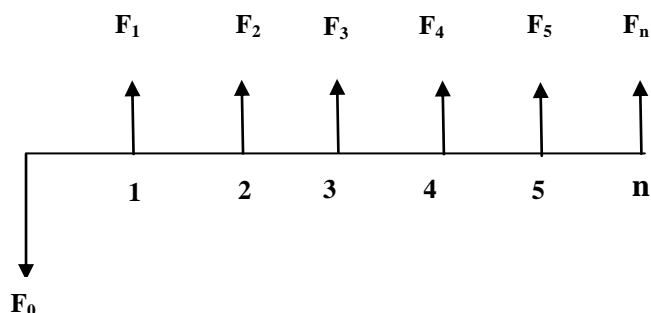
✓ **Número de períodos em análise: 06 anos**

Atendendo um dos objetivos do presente estudo, para se realizar a avaliação econômica que possa embasar uma resposta próxima da realidade sobre a viabilidade econômica do projeto proposto, de acordo com Marion (1998), devem ser levados em conta a Demonstração do Fluxo de Caixa, o Valor Presente Líquido, a Taxa Interna de Retorno e o Cálculo do Payback Descontado, sendo que o resultado destes quatro elementos analisados em conjunto propiciam uma conclusão sobre a viabilidade econômica do projeto.

Com as premissas básicas apresentadas e o estudo apresentado no Apêndice IV, possibilitou-se os cálculos e demonstrações do DFC, VPL, TIR e Payback Descontado do projeto proposto, conforme demonstrado a seguir.

7.2.1 Demonstração do Fluxo de Caixa (DFC)

Para o projeto em estudo, segundo MARION (1998) a Demonstração do Fluxo de Caixa se comporta da seguinte forma:



Onde:

$F_0 = \text{Investimento inicial} = \text{R\$ } 18.900.000,00$
 $F_1 = \text{Ganho anual (1)} = \text{R\$ } 4.031.720,00$
 $F_2 = \text{Ganho anual (2)} = \text{R\$ } 4.031.720,00$
 $F_3 = \text{Ganho anual (3)} = \text{R\$ } 4.031.720,00$
 $F_4 = \text{Ganho anual (4)} = \text{R\$ } 4.031.720,00$
 $F_5 = \text{Ganho anual (5)} = \text{R\$ } 4.031.720,00$
 $F_n = \text{Ganho anual (6)} = \text{R\$ } 4.031.720,00$
 $n = \text{número de períodos do projeto} = 6 \text{ anos}$

Para o presente estudo a (DFC) indica que para um investimento inicial de R\$ 18.900.000,00 atendendo o ganho anual de R\$ 4.031.720,00 durante 06 anos, o projeto obterá o retorno financeiro esperado, desde que as atividades operacionais, de investimento e de financiamento sigam os requisitos propostos durante o experimento, nas três etapas desenvolvidas.

7.2.2 Valor Presente Líquido (VPL)

De acordo com Hoji (2010), o Cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), para o projeto em desenvolvimento, onde:

Investimento Inicial = R\$ 18.900.000,00

FC = fluxo de caixa no período $t = \text{R\$ } 4.031.720,00$

$t =$ enésimo período no tempo em que o dinheiro será investido no projeto (começa no período 1, quando há efetivamente o primeiro fluxo de dinheiro)

$n =$ número de períodos $t = 6$

$i =$ taxa de juros = 7,5 %

Será:

✓ **VPL = Valor Presente Líquido = R\$ 2.179.331,76**

✓ **VPL ≥ 0 , logo projeto é viável.**

O VPL obtido de R\$ 2.179.331,76, acima de zero, demonstra o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros de 7,5% ao ano, descontando o investimento inicial de R\$ 18.900.000,00, levando em conta o ganho anual de R\$ 4.031.720,00, do projeto proposto confirmando assim a viabilidade econômica do mesmo até no sexto ano de operação.

7.2.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Obtenção da Taxa Interna de Retorno (TIR), segundo Rebelatto (2004), no projeto em estudo, onde:

FCt = valor presente das entradas de caixa = R\$ 4.031.720,00

I_0 = investimento inicial = R\$ 18.900.000,00

k = taxa de desconto (taxa de juros) = 7,5% ao ano

t = tempo de desconto de cada entrada de capital = anual

n = tempo de desconto do último fluxo de caixa = 06 anos

Será:

✓ **TIR = Taxa Interna de Retorno = 8% > 7,5%, logo o projeto é economicamente atrativo.**

A TIR obtida no presente estudo foi de 8%, ou seja a taxa de desconto do investimento de R\$ 18.900.000,00 proposto, a uma taxa de juros anual de 7,5% para um período de seis anos de operação maior que 7,5%, que é a taxa de juros aplicada, demonstrando assim a atratividade econômica do projeto proposto.

7.2.4 Cálculo do Payback Descontado

O cálculo da Payback Descontado, segundo Otta (2002), indica o prazo de recuperação do investimento, considerando a taxa de desconto para os fluxos de caixa de cada período, demonstrando a atratividade do projeto.

No caso do presente estudo os indicadores considerados são:

Investimento inicial = R\$ 18.900.000,00

Ganho anual = R\$ 4.031.720,00

Taxa de juros = 7,5 % ao ano

Utilizando a ferramenta Financeira Excel o tempo para ocorrer o retorno do investimento será de:

✓ **5,4 anos**

O cálculo do payback descontado para o presente estudo, demonstra que o investimento de R\$ 18.900.000,00, aplicados no projeto proposto, a uma

taxa de juros de 7,5% ao ano, com um ganho anual de R\$ 4.031.720,00 será pago em 5,4 anos.

8 CONCLUSÕES

O estudo da viabilidade técnica em três etapas, demonstrou que:

A correção do pH da vinhaça para 7 aumentou a produção de biogás em 97,5%, com 3,6 % mais CH₄ e 6,3 % menos CO₂, demonstrando também efeitos favoráveis com maior redução de DQO.

O uso de reciclo com taxa de 50% produziu 26% mais biogás, com 1,7% mais CH₄ e 2,4% menos CO₂, cabendo ressaltar que a DQO da entrada da vinhaça com 50% de reciclo é 38% menor do que a DQO da entrada da vinhaça in natura, apresentando os mesmos índices de redução.

A correção da temperatura da vinhaça produziu 79% mais biogás, com 9% mais CH₄ e 36% menos CO₂. As reduções de DQO foram de 49%, em temperatura ambiente e de 62,2%, aquecido a 55° C.

Para o estudo de viabilidade econômica concluiu-se que:

Pela Demonstração do Fluxo de Caixa o projeto será viável, num período previsto de até 06 anos, com Investimento Inicial de R\$ 18.900.000,00, uma taxa de 7,5% ao ano e um ganho mensal de R\$ 4.031.720,00.

O Valor Presente Líquido obtido, a uma taxa de juros de 7,5% ao ano, foi de R\$ 2.179.331,76 e a Taxa Interna de Retorno obtida foi 8%, com Payback Descontado de 5,54 anos, demonstrando a viabilidade econômica do projeto proposto.

9 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (AIE). Coal Industry Advisory Board: CIAB. Disponível em: www.iea-coal.org.uk . Acesso em: 10 mar. 2012.

AGROGÁNICA. “Riqueza no lixo”. Artigo por Juliana Borges. São Paulo, jun., 2004.

ANDRADE, J. M. Impactos Ambientais da Agroindústria da Cana-de-açúcar: Subsídios para a Gestão. Monografia, ESALQ/USP, São Paulo, SP, Brasil. 2007.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Relatório Aneel 2013. 2014.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa N° 482. 2012..

ANP. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2010.

BERMANN, C. Sustentabilidade Energética no Brasil: Limites e possibilidades para uma estratégia energética sustentável e democrática, Editora FASE, Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA, ABEEólica. Disponível em <<http://www.portalabeeolica.org.br/index.php/nossosector.html>> , Acessado em: 14 de junho de 2016

BINI, ANDERSON. Análise Econômica da Produção Industrial e do Consumo de energia Elétrica em uma Usina Sucro-Alcooleira. Dissertação de Mestrado – 117 pp. Orientado por Luiz Gonzaga de Souza, Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP- Botucatu, 1993.

- BLANCO, M. I. The economicsof Wind energy. RenewableandSustanaible Energy Reviews, v. 13, n. 6-7, p. 1372-1382, ago2009
- BRUNO, M. Desempenho de Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente com Manta de Lodo (UASB) em Dois Estágios Tratando Águas Residuárias do Beneficiamento de Café por Via Úmida, Dissertação de Mestrado, Orientador Roberto Alves de Oliveira, FCVA UNESP, Jaboticabal, 2007.
- BSW SOLAR - GERMAN SOLAR INDUSTRY ASSOCIATION. A energia solar nos países em desenvolvimento e emergentes. 2015.
- CAMARGO, O. A. Características Químicas e Físicas de Solo que recebeu Vinhaça por Longo Tempo, Instituto Agronômico de Campinas, Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária – Campinas, 1983.
- CAMPBELL, C. J. O Brasil e o fim da era do petróleo. Veja, São Paulo, 20.12.2006.
- CARVALHO, C. E. Usos Finais da Energia Elétrica, Editora FASE, Rio de Janeiro, 2000.
- CASAROTTO, N. F.; KOPITTKE, B. H. Análise de Investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. 8.ed. São Paulo: Atlas, 1998.
- CASTRO, C.A. Biodigestão Anaeróbica de Efluentes Industriais – ZANINI S.A. - Sertãozinho, 1991.
- CASTRO, L. R. Influência da temperatura no desempenho de biodigestores com esterco bovino. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 97-102, 1998.
- CAVALCANTI, C. – Desenvolvimento e natureza: Estudos para uma Sociedade Sustentável. Editora Cortez, São Paulo, 1995.
- CETESB. Normas da CETESB. P4.231 - Vinhaça – critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. São Paulo, 2006.
- CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. As energias solar e eólica no Brasil. 2013.
- CGEE; Química Verde no Brasil: 2010-2030, Centro de Estudos e Gestão Estratégicos: Brasília, 2010.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, CETESB. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>, Acessado em: 14 de junho de 2016

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, CETESB. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>, Acessado em: 14 de junho de 2016

COPERSUCAR. - Aproveitamento da Vinhaça, Viabilidade Técnico-Econômica. Centro de Tecnologia da Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, Piracicaba, 1979.

CORDEIRO, T. – Carros a álcool poluem menos que os a gasolina. Revista Super Interessante, <http://super.abril.com.br/cotidiano/carros-alcool-poluem-menos-gasolina-620283.shtml>, novembro, 2009.

FIGLIOLINI, G. F. Proálcool: Balanço Econômico-Social e Impactos na Matriz Energética Nacional. Belo Horizonte. UFMG, 1994, 77p.

FREITAS, M. A. V. Setor Elétrico Brasileiro – Oportunidades em Energias Renováveis, 2001. CD-ROM Energeo Aneel.

GRADELLA VILLALVA: Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e Aplicações, Sistemas Isolados à Reder. São Paulo, SP; Editora Érica, 2012.

HENRIQUES, R. MARTINS: Potencial para Geração de Energia Elétrica no Brasil com Resíduos de Biomassa Através da Gaseificação - Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

HOJI, M. Administração Financeira e Orçamentária. São Paulo: Atlas, 2010.

IEEE - INSTITUTO DE ENGENHEIROS ELETRICISTAS E ELETRÔNICOS. Energia solar fotovoltaica de terceira geração. 2014. Disponível em :<<http://www.ieee.org.br/wpcontent/uploads/2014/05/energia-solar-fotovoltaica-terceira-geracao.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2016.

JACOBI, P. R. Educação e Pesquisa, São Paulo, 2005.

JÚNIOR, C. B., GALINKIN, M., et al., Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais. 2 ed. Foz do Iguaçu/Brasília, Technopolitik, 2009.

LAMO, PAULO DE. Biodigestão da Vinhaça – METHAX – BIOPAQ – CODISTIL – Piracicaba – 1992.

LAMO, PAULO DE. Metodologia para Determinação de Parâmetros de Avaliação na Produção do Biogás na Destilaria São João Ltda – Piracicaba, 2000.

LAMO, PAULO DE. Produção de Biogás a Partir de Vinhaça, TECNOLOGIA/PESQUISA – STAB – vol. 7, pp 16-25, 1983.

LAMO, PAULO DE. Sistema produtor de Gás Metano Através de Tratamento de Efluentes Industriais – METHAX/BIOPAQ – CODISTIL – Piracicaba, 1991.

LETTINGA, G. Anaerobic Treatment for Wastewater Treatment and energy Production, in: Inter-American Seminar on Biogas, 11, 1991, João Pessoa. 35 pp.

LORA, E. E. S. Geração de energia e gaseificação de biomassa. Biomassa & Energia, Viçosa, 2004.

LUCAS JR., J. Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios. Jaboticabal, 1994. 113p. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.

LUZIO, E. Finanças corporativas teoria e prática. S.l: Cengage Learning, 2011.

MACHADO, C. Energia Solar Fotovoltaica: Uma breve revisão. Revista virtual de química. Niterói, RJ, vol. 7, n. 1, p. 126-143, 14, out. 2014.

MAPA, Anuário Estatístico da Agroenergia 2010. 2 ed. Brasília, MAPA, 2011.

MARCOVITCH, J. Para mudar o futuro. São Paulo: Saraiva, Edusp, 2006.

MATTOSO, E. S. Estratégias de atuação das empresas de etanol no Brasil. Dissertação (Mestrado). Escola de Pós-Graduação em Economia, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2008.

MME – Ministério de Minas e Energia, Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030. Brasília, MME:EPE, 2007.

MME – Ministério de Minas e Energia - “Energia Eólica no Brasil e no Mundo” - Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético (SPE), 2014.

MARION, J. C. Contabilidade empresarial. 8.ed. São Paulo: Atlas, 1998.

MOTTA, Régis da Rocha. CALÔBA, Guilherme Marques. Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais. São Paulo: Editora Atlas, 2.002.

NASCIMENTO, C. Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2004. 23 f.

NOBRE, M. Desenvolvimento Sustentável: A Institucionalização de um Conceito. Brasília – DF: Edições IBAMA, 2002.

OLIVEIRA, D. Presidente decide mudar a MP da energia. O Estado de São Paulo, São Paulo, 26 maio 2001. Economia & Negócios. p. B1.

OTTA, C. Calculos de Retorno de Investimentos para Projetos de Longo Prazo, Canoas, 2002.

OTTO, R. et. al. Manejo da Adubação Potássica na Cultura da Cana-de-açúcar. R. Bras. Ci. Solo, 34:1137-1145, 2010.

PARANHOS, S. B. Cana de Açúcar, Cultivo e Utilização, Fundação CARGIL – Campinas, 1987.

PINTO, CLÁUDIO PLAZA. Tecnologia da Digestão Anaeróbica da Vinhaça e Desenvolvimento Sustentável, Dissertação de Mestrado - 144 pp. Orientado por Luís Augusto Barbosa Cortez, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas, 1999.

RABELO, A. N. B. Manual de Preparação de Estudos de Viabilidade Industrial. São Paulo: Atlas, 1987.

RAMIREZ, O. P. Influencia da Recirculação e da Alcalinidade no Desempenho de um Reator UASB no Tratamento de Efluente de Suinocultura. Pelotas, 2004.

RAMOS, J. B. Energia: desafios e alternativas para o século XXI. Informativo do Instituto Aqualung, Campinas, 2004.

REBELATTO, D. Projeto de Investimento. São Paulo: Manole, 2004.

ROCHA, B. B. M. Produção de Biogás a Partir de Vinhoto e Água de Lavagem de Cana, Seminário de energia de biomassa e resíduos. Belo Horizonte, 1988.

ROCHA, J. D. Uso da Biomassa para Produção de Energia, Unicamp, São Paulo, 2012.

- REIS, A. S. Tratamento de Resíduos Sólidos Orgânicos em Biodigestor Anaeróbio, Dissertação de Mestrado – Orientado por Simone Machado Santos, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2012.
- ROSSETTO, A. J. Efeito da Aplicação Prolongada da Vinhaça nas Propriedades Químicas dos Solos com Cana-de-Açúcar. Araras, 1993.
- SALERNO, A. G. Pré-estudo para Implantação da Biodigestão Anaeróbica da Vinhaça em Usina de Açúcar e Álcool. – ZANINI S.A. – Sertãozinho, 1991.
- SALOMON, K. R. Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade – Tese de Doutorado, orientada por Electo Eduardo Silva Mora – Universidade Federal de Itajubá – MG. – Itajubá, 2007.
- SANEAMENTO AMBIENTAL. São Paulo. Van Moorsel, Andrade & Cia Ltda, 1989, Bimestral.
- SANTOS, A. H. M. Análise Econômico-Financeira de Centrais Termelétricas. Itajubá: Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1999.
- SEVERINO, M. M. Fontes e Tecnologias de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas. Energia, Economia, Rotas Tecnológicas: textos selecionados, Palmas, ano 1, p. 265-322, 2010.
- SCHIRIM, O. Metano – Aproveitamento em Usinas de Álcool – ASA Consultoria S/C LTDA – São Paulo, 1991.
- SILVA M. Use of stillage and its impact on soil properties and groundwater. Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental, v. 11, p.108–14, 2007.
- SILVA A. A. Viabilidade Técnica e Econômica da Implantação da Biodigestão Anaeróbia e Aplicação de Biofertilizante nos Atributos de Solo e Plantas - Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias do Campus de Jaboticabal, UNESP, Jaboticabal – São Paulo – Brasil – 2009.
- SILVA, N. F. ROSA, L.P.; FREITAS, M.A.V.; PEREIRA, M. G. Wind energy in Brazil: From the power sector's expansion crisis model to the favorable environment. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.22, p. 686-697, 2013
- SILVEIRA, B. I. Produção de Biodiesel – Análise e Projeto de Reatores Químicos (S.I.) Biblioteca 24 horas, 2011.

SOUZA, M. E. Thermophilic Anaerobic Digestion of Vinasse in Pilot Plant UASB Reactor. *Water Science and Technology*, vol. 25 n. 7, pp 212-223, EUA, 1992.

SOUZA, R. M. Estimativa do Potencial Brasileiro de Produção de Biogás através da Biodigestão da Vinhaça e Comparação com outros Energéticos. Trabalho apresentado no IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Seguro – Ba, 2000.

STCP BRASIL. “Biomassa para geração de energia principais fontes da biomassa e tecnologias adotadas”, São Paulo, 2004.

TIELBAARD, M. Experience with Treatment of Cane Vinasse by UASB Reactors. *International Sugar Journal*, N.Y., vol. 94 n.1127, 1992. pp 41-49.

TOLEDO, L. R. Energia Reciclada & Máquinas para Acelerar o Tempo, *TECNOLOGIA/PESQUISA - STAB-*, vol.33, pp. 43-47, 2001.

WALTER, A. Fomento à Geração Elétrica com Fontes Renováveis de Energia no Meio Rural Brasileiro: Barreiras, Ações e Perspectivas 22 pp. – Departamento de Energia – UNICAMP – Campinas, 2000.

WANG, Y.; Life cycle assessment of CO₂ emissions from Wind powerplants: Methodology and case studies. *Renewable Energy* v. 43, p. 30-36, 2012

WEBER, M. I. Avaliação da Eficiência de um Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado para o Tratamento de Resíduos Líquidos da Indústria de Refrigerantes, Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, da Universidade Federal do Paraná - Curitiba, 2006.

APÊNDICE I

pH DO AFLUENTE											
DIA	DATA	Produção de Biogás		Composição do Biogás %				DQO do Efluente mg.l ⁻¹			
		Reator 1 sem correção	Reator 2 com correção	Reator 1 sem correção		Reator 2 com correção		Reator 1 sem correção		Reator 2 com correção	
		m ³	m ³	%CH ₄	%CO ₂	%CH ₄	%CO ₂	DQO Entrada mg.l ⁻¹	DQO Saída mg.l ⁻¹	DQO Entrada mg.l ⁻¹	DQO Saída mg.l ⁻¹
1	15/08/2012	0,00141	0,00280	15,16	13,23	73,23	11,23	12.367	11.345	10.982	9.870
2	16/08/2012	0,00324	0,00603	87,11	28,11	65,11	12,35	21.345	19.010	7.789	6.543
3	17/08/2012	0,00126	0,00125	78,11	25,11	67,18	12,00	19.878	11.233	21.313	15.432
4	18/08/2012	0,00126	0,00125	76,77	29,09	36,78	15,00	17.892	12.678	6.754	5.678
5	19/08/2012	0,00126	0,00125	23,10	29,09	65,11	12,00	21.098	7.789	7.892	6.789
6	20/08/2012	0,00126	0,00125	22,79	12,34	65,11	15,00	12.989	21.313	21.098	11.233
7	21/08/2012	0,00126	0,00125	34,00	12,00	67,34	32,11	12.133	12.001	14.323	12.333
8	22/08/2012	0,00097	0,00121	65,11	11,11	62,32	11,11	9.890	8.776	12.367	11.233
9	23/08/2012	0,00051	0,00114	56,16	5,02	69,01	9,10	7.689	6.543	21.345	12.678
10	24/08/2012	0,00041	0,00089	43,23	3,23	78,00	8,09	10.100	9.890	7.766	11.223
11	25/08/2012	0,00034	0,00072	66,01	28,11	34,00	8,91	21.098	18.790	13.456	11.234
12	26/08/2012	0,00034	0,00072	34,23	28,11	45,00	9,11	10.982	9.870	12.998	9.879
13	27/08/2012	0,00034	0,00072	23,45	29,09	67,18	12,00	7.789	6.543	11.234	7.899
14	28/08/2012	0,00034	0,00072	11,44	12,34	36,78	15,00	21.313	15.432	12.378	11.231
15	29/08/2012	0,00032	0,00113	44,00	45,00	35,11	16,78	6.754	5.678	18.956	17.852
16	30/08/2012	0,00030	0,00187	48,00	43,00	34,20	13,45	7.892	6.789	12.345	11.234
17	31/08/2012	0,00030	0,00187	49,01	9,00	79,11	12,34	21.345	19.876	21.345	19.801
18	01/09/2012	0,00030	0,00187	23,11	8,78	78,34	14,56	6.754	5.432	22.890	21.345
19	02/09/2012	0,00030	0,00187	45,67	5,00	77,34	18,99	10.100	9.809	12.389	11.234
20	03/09/2012	0,00010	0,00461	48,90	5,00	76,23	19,00	22.341	12.345	18.909	17.654
21	04/09/2012	0,00000	0,00739	78,11	23,00	77,11	12,34	6.543	5.674	19.001	17.220
22	05/09/2012	0,00035	0,01123	23,45	24,00	73,23	11,23	8.777	7.889	12.998	11.223
23	06/09/2012	0,00146	0,01810	34,51	25,00	65,11	12,35	9.871	9.789	11.234	11.234
24	07/09/2012	0,00100	0,00998	34,00	12,00	67,34	32,11	12.345	11.234	7.766	6.656
25	08/09/2012	0,00104	0,00559	47,00	14,00	68,23	12,34	6.754	9.823	13.456	12.131
26	09/09/2012	0,00129	0,01759	51,00	15,66	89,34	9,89	6.543	9.762	12.367	11.345
27	10/09/2012	0,00304	0,02598	53,11	13,23	79,11	7,00	13.245	12.341	21.345	19.010
28	11/09/2012	0,00566	0,01685	74,56	11,34	80,11	12,11	11.234	10.987	19.878	11.233
29	12/09/2012	0,00948	0,01290	79,09	17,89	82,34	13,45	10.987	18.901	17.892	12.678
30	13/09/2012	0,01156	0,01349	78,11	18,99	83,50	14,11	11.900	7.890	13.200	8.100
31	14/09/2012	0,004899	0,010250	79,98	19,99	84,00	14,93	12.110	8.110	11.780	7.709
32	15/09/2012	0,004978	0,010180	81,03	18,33	85,01	14,56	11.990	7.890	12.500	7.213
33	16/09/2012	0,004767	0,010940	83,01	16,07	83,01	14,98	12.330	8.790	12.515	8.230
34	17/09/2012	0,004857	0,010310	81,03	19,04	84,03	14,54	11.980	7.530	11.680	9.020
35	18/09/2012	0,005123	0,010060	82,14	17,75	82,01	15,32	10.560	7.888	13.450	7.120

36	19/09/2012	0,005099	0,010350	79,00	17,99	84,06	14,91	12.340	7.530	11.930	7.007
37	20/09/2012	0,004377	0,010030	81,03	17,89	86,01	15,45	11.990	7.650	12.300	8.901
38	21/09/2012	0,004856	0,010370	81,02	18,97	84,02	14,98	12.729	11.209	13.200	9.900
39	22/09/2012	0,005843	0,021390	81,00	16,70	83,44	16,50	12.678	11.210	11.978	9.810
40	23/09/2012	0,005852	0,021050	82,00	16,00	82,37	15,96	12.780	11.170	12.500	9.812
41	24/09/2012	0,005882	0,022370	81,99	16,00	82,98	15,44	12.399	11.298	12.515	9.971
42	25/09/2012	0,005892	0,022140	82,81	16,59	83,59	15,99	12.980	10.780	12.919	9.913
43	26/09/2012	0,005828	0,021750	81,55	15,00	83,82	16,79	12.670	11.214	13.450	10.001
44	27/09/2012	0,005832	0,021740	80,00	16,57	83,77	17,90	12.640	11.216	12.919	9.813
45	28/09/2012	0,005843	0,021730	81,08	17,00	82,08	15,89	12.555	11.176	12.830	9.807
46	29/09/2012	0,005843	0,021730	82,00	16,00	83,98	16,89	15.643	10.109	13.729	8.300
47	30/09/2012	0,018260	0,037440	80,01	16,70	84,44	14,50	15.324	11.210	13.978	8.519
48	01/10/2012	0,018290	0,036480	79,23	16,53	85,37	14,96	15.789	10.170	13.900	7.902
49	02/10/2012	0,017320	0,037560	77,09	16,00	83,98	15,44	13.239	11.298	13.515	7.890
50	03/10/2012	0,017340	0,035530	79,00	16,59	84,97	15,10	16.079	10.780	13.919	8.200
51	04/10/2012	0,018350	0,035340	79,00	16,95	85,38	15,08	17.654	11.214	13.450	8.120
52	05/10/2012	0,017830	0,035080	78,23	16,57	85,90	15,09	15.456	10.126	13.919	7.890
53	06/10/2012	0,017890	0,036990	81,08	16,70	84,69	13,89	15.982	11.176	13.830	8.909
54	07/10/2012	0,017350	0,039600	79,65	16,69	84,40	13,89	22.450	15.324	22.178	14.567
55	08/10/2012	0,031990	0,056740	82,34	17,89	84,03	15,00	22.345	17.890	22.314	14.332
56	09/10/2012	0,032500	0,053760	81,89	18,91	80,09	17,00	21.567	15.432	21.345	14.432
57	10/10/2012	0,032860	0,054720	79,89	16,57	79,98	18,00	20.890	15.632	20.980	13.256
58	11/10/2012	0,031300	0,043980	81,89	14,57	79,88	15,78	23.451	15.970	21.367	14.378
59	12/10/2012	0,031490	0,043970	79,99	17,89	77,99	17,89	23.380	15.925	22.067	14.452
60	13/10/2012	0,033310	0,043980	77,81	15,99	83,44	18,91	22.134	15.789	22.675	14.567
61	14/10/2012	0,031330	0,054490	78,37	16,89	85,00	19,34	22.456	15.389	21.890	15.678
62	15/10/2012	0,031060	0,054340	77,88	17,67	79,11	19,67	21.345	12.322	21.567	13.980
63	16/10/2012	0,01028	0,01759	34,00	54,23	67,18	12,00	22.341	20.999	21.345	19.878
64	17/10/2012	0,00941	0,01868	23,10	43,00	36,78	15,00	6.543	5.566	19.878	19.888
65	18/10/2012	0,00662	0,02140	22,79	23,22	77,11	12,34	8.777	7.892	9.988	8.899
66	19/10/2012	0,00532	0,02361	15,16	13,23	73,23	11,23	7.789	6.624	23.456	23.567
67	20/10/2012	0,00532	0,02520	87,11	28,11	65,11	12,35	21.313	20.981	21.345	22.345
68	21/10/2012	0,00515	0,01340	78,11	25,11	67,18	12,00	6.754	5.567	10.989	11.989
69	22/10/2012	0,00495	0,00583	76,77	29,09	36,78	15,00	22.131	17.890	22.897	22.099
70	23/10/2012	0,01103	0,01310	34,56	12,34	77,11	12,34	1.564	5.674	12.378	11.456
71	24/10/2012	0,01115	0,01253	45,00	45,00	73,23	11,23	12.341	7.889	18.956	11.233
72	25/10/2012	0,01517	0,01420	67,00	35,23	65,11	12,35	8.897	9.823	12.345	12.678
73	26/10/2012	0,02235	0,01757	45,23	37,89	56,11	9,10	8.765	9.762	12.367	10.987
74	27/10/2012	0,02522	0,02030	44,55	56,78	78,34	12,30	12.342	6.543	21.345	19.878
75	28/10/2012	0,02507	0,02179	67,89	15,00	98,23	11,11	6.543	9.890	7.766	8.998
76	29/10/2012	0,02691	0,01774	98,11	16,78	18,14	12,09	8.777	6.543	13.456	11.234
77	30/10/2012	0,02345	0,01342	35,66	23,23	22,10	32,11	9.871	9.890	12.998	11.223
78	31/10/2012	0,02204	0,01449	67,89	28,11	57,89	12,34	7.789	6.655	11.234	10.235
79	01/11/2012	0,02682	0,01929	56,89	28,61	37,89	23,33	21.313	12.333	12.453	11.990
80	02/11/2012	0,02739	0,02045	23,10	29,09	65,11	12,00	6.754	5.544	12.378	11.234

81	03/11/2012	0,02051	0,01802	22,79	12,34	65,11	15,00	10.100	9.900	18.956	9.879
82	04/11/2012	0,01408	0,01439	15,16	45,00	65,11	12,35	22.341	12.678	12.345	7.899
83	05/11/2012	0,01102	0,01187	87,11	15,00	67,18	12,00	6.543	7.895	12.389	11.767
84	06/11/2012	0,01255	0,01384	78,11	16,78	78,90	12,00	8.777	12.345	18.909	17.867
85	07/11/2012	0,01513	0,01654	76,77	15,66	98,11	15,00	10.100	12.342	19.001	14.324
86	08/11/2012	0,01728	0,01838	34,56	13,23	45,17	11,11	15.678	14.352	12.998	11.234
87	09/11/2012	0,01940	0,02145	45,00	11,34	43,12	9,11	9.888	12.563	11.234	9.878
88	10/11/2012	0,02027	0,02291	67,00	15,00	65,11	12,35	7.834	6.543	21.345	12.342
89	11/11/2012	0,02537	0,02511	45,23	16,78	67,18	12,00	7.654	9.890	7.766	6.672
90	12/11/2012	0,02858	0,02846	44,55	23,34	75,67	32,11	12.312	9.823	13.456	11.221
91	13/11/2012	0,02737	0,02761	67,89	22,00	56,11	12,34	7.654	9.762	7.765	11.234
92	14/11/2012	0,02691	0,02686	98,11	21,21	78,34	12,30	7.723	5.674	8.877	9.879
93	15/11/2012	0,02647	0,02642	35,66	21,56	98,23	11,11	13.456	7.889	8.865	7.899
94	16/11/2012	0,02195	0,02191	67,89	19,09	18,14	12,09	17.892	9.823	12.456	10.987
95	17/11/2012	0,01121	0,01560	55,66	12,11	77,11	12,34	13.456	9.762	18.956	19.878
96	18/11/2012	0,00590	0,01182	23,45	9,00	73,23	11,23	11.231	6.543	12.378	8.998
97	19/11/2012	0,00485	0,00938	34,51	16,78	65,11	12,35	7.788	9.890	18.956	17.654
98	20/11/2012	0,00361	0,00771	34,00	23,34	67,18	12,00	21.456	20.984	12.345	11.245
99	21/11/2012	0,00348	0,00901	47,00	15,66	36,78	15,00	6.543	7.856	7.766	11.233
100	22/11/2012	0,00486	0,01098	51,00	13,23	22,10	12,30	8.777	9.823	13.456	12.678
101	23/11/2012	0,00652	0,01287	53,11	11,34	57,89	11,11	9.871	12.312	12.367	7.889
102	24/11/2012	0,05306	0,02539	74,56	15,00	37,89	12,09	10.100	9.988	21.345	19.870
103	25/11/2012	0,03629	0,02017	89,99	16,78	77,11	12,34	22.341	21.333	13.677	11.223
104	26/11/2012	0,02959	0,01724	66,01	16,78	73,23	11,23	6.543	6.543	12.455	11.234
105	27/11/2012	0,01614	0,01802	34,23	23,34	65,11	12,35	8.777	9.890	12.378	11.223
106	28/11/2012	0,03662	0,01872	23,45	12,11	67,89	32,11	7.789	9.823	18.956	10.235
107	29/11/2012	0,02526	0,01497	11,44	11,00	78,90	12,34	21.313	9.762	12.345	11.990
108	30/11/2012	0,03511	0,01313	44,00	12,45	67,18	12,00	6.754	5.674	12.389	11.234
109	01/12/2012	0,01560	0,01342	48,00	34,00	36,78	15,00	9.888	7.889	18.909	9.879
110	02/12/2012	0,03578	0,01607	49,01	9,00	22,10	12,30	7.834	6.543	19.001	7.899
111	03/12/2012	0,01943	0,00577	33,11	8,00	57,89	11,11	7.654	9.890	12.998	7.564
112	04/12/2012	0,01935	0,00597	15,11	12,11	37,89	12,09	3.241	3.123	7.789	6.654
113	05/12/2012	0,01518	0,01408	45,23	16,78	67,18	12,00	6.543	6.543	12.455	11.234
114	06/12/2012	0,02235	0,01757	44,55	23,34	75,67	32,11	8.777	9.890	12.378	11.223
115	07/12/2012	0,02522	0,02030	67,89	22,00	56,11	12,34	6.754	5.674	12.389	11.234
116	08/12/2012	0,02507	0,02179	43,23	3,23	78,00	8,09	8.777	9.890	12.378	11.223
117	09/12/2012	0,02691	0,01774	66,01	28,11	34,00	8,91	7.789	9.823	18.956	10.235
118	10/12/2012	0,02345	0,01342	34,23	28,11	45,00	9,11	21.313	9.762	12.345	11.990
119	11/12/2012	0,02204	0,01449	23,45	29,09	67,18	12,00	6.543	5.566	19.878	19.888
120	12/12/2012	0,02694	0,01929	11,44	12,34	36,78	15,00	8.777	7.892	9.988	8.899
121	13/12/2012	0,02739	0,02045	37,89	12,09	45,00	9,11	7.789	6.624	23.456	23.567
122	14/12/2012	0,02051	0,01802	77,11	12,34	22,79	23,22	21.313	20.981	21.345	22.345
123	15/12/2012	0,01408	0,01439	73,23	11,23	15,16	13,23	6.754	5.567	10.989	11.989
124	16/12/2012	0,01102	0,01187	65,11	12,35	87,11	28,11	22.131	17.890	22.897	22.099
125	17/12/2012	0,01255	0,01384	67,89	32,11	78,11	25,11	1.564	5.674	12.378	11.456

126	18/12/2012	0,01513	0,01654	78,90	12,34	76,77	29,09	12,341	7.889	18.956	11.233
127	19/12/2012	0,01728	0,01838	67,18	12,00	34,56	12,34	8.897	9.823	12.345	12.678
128	20/12/2012	0,01940	0,02145	36,78	15,00	45,00	45,00	8.765	9.762	12.367	10.987
129	21/12/2012	0,02027	0,02291	22,10	12,30	67,00	35,23	12.342	6.543	21.345	19.878
130	22/12/2012	0,01955	0,00571	57,89	11,11	45,23	37,89	6.543	9.890	7.766	8.998
131	23/12/2012	0,01517	0,01420	37,89	12,09	44,55	56,78	8.777	6.543	13.456	11.234
131	24/12/2012	0,02235	0,01757	67,18	12,00	67,89	15,00	9.871	9.890	12.998	11.223
132	25/12/2012	0,02522	0,02030	75,67	32,11	98,11	16,78	7.789	6.655	11.234	10.235
133	26/12/2012	0,02507	0,02179	36,78	15,00	35,66	23,23	8.777	9.890	12.378	11.223
134	27/12/2012	0,02691	0,01774	45,00	9,11	67,89	28,11	7.789	9.823	18.956	10.235
135	28/12/2012	0,02345	0,01342	22,79	23,22	56,89	28,61	21.313	9.762	12.345	11.990
136	29/12/2012	0,02204	0,01449	15,16	13,23	23,10	29,09	8.777	9.890	12.378	11.223
137	30/12/2012	0,02682	0,01929	51,00	15,66	65,11	12,35	7.789	9.823	18.956	10.235
138	31/12/2012	0,02739	0,02045	53,11	13,23	67,89	32,11	21.313	9.762	12.345	11.990
139	01/01/2013	0,02051	0,01802	74,56	11,34	78,90	12,34	6.543	6.543	12.455	11.234
140	02/01/2013	0,01408	0,01439	79,09	17,89	67,18	12,00	8.777	9.890	12.378	11.223
141	03/01/2013	0,01102	0,01187	78,11	18,99	36,78	15,00	8.777	9.890	12.378	11.223
142	04/01/2013	0,01255	0,01384	65,11	12,35	22,10	12,30	7.789	9.823	18.956	10.235
143	05/01/2013	0,01513	0,01654	11,44	12,34	36,78	15,00	21.313	9.762	12.345	11.990
144	06/01/2013	0,01728	0,01838	37,89	12,09	45,00	9,11	6.754	5.674	12.389	11.234
145	07/01/2013	0,01940	0,02145	78,00	8,09	43,23	3,23	11.231	6.543	12.378	8.998
146	08/01/2013	0,02027	0,02291	34,00	8,91	66,01	28,11	7.788	9.890	18.956	17.654
147	09/01/2013	0,01922	0,00611	45,00	9,11	34,23	28,11	21.456	20.984	12.345	11.245
148	10/01/2013	0,01517	0,01420	67,18	12,00	23,45	29,09	6.543	7.856	7.766	11.233
149	11/01/2013	0,02235	0,01757	45,00	9,11	45,23	16,78	8.777	9.823	13.456	12.678
150	12/01/2013	0,02522	0,02030	23,11	8,78	78,34	14,56	9.871	12.312	12.367	7.889
151	13/01/2013	0,02507	0,02179	45,67	5,00	77,34	18,99	10.100	9.988	21.345	19.870
152	14/01/2013	0,02691	0,01774	48,90	5,00	76,23	19,00	22.341	21.333	13.677	11.223
153	15/01/2013	0,02345	0,01342	45,23	16,78	67,18	12,00	6.543	6.543	12.455	11.234
154	16/01/2013	0,02204	0,01449	44,55	23,34	75,67	32,11	8.777	9.890	12.378	11.223
155	17/01/2013	0,02682	0,01929	67,89	22,00	56,11	12,34	7.789	9.823	18.956	10.235
156	18/01/2013	0,02739	0,02045	56,11	12,34	78,00	8,09	21.313	9.762	12.345	11.990
157	19/01/2013	0,02051	0,01802	34,00	8,91	34,00	8,91	6.754	5.674	12.389	11.234
158	20/01/2013	0,01408	0,01439	45,00	9,11	45,00	9,11	9.888	7.889	18.909	9.879
159	21/01/2013	0,01102	0,01187	67,18	12,00	67,18	12,00	7.834	6.543	19.001	7.899
160	22/01/2013	0,01255	0,01384	36,78	15,00	23,11	8,78	7.654	9.890	12.998	7.564
161	23/01/2013	0,01513	0,01654	36,78	15,00	37,89	12,09	3.241	3.123	7.789	6.654
162	24/01/2013	0,01728	0,01838	45,00	9,11	77,11	12,34	21.313	9.762	12.345	11.990
163	25/01/2013	0,01940	0,02145	22,79	23,22	73,23	11,23	6.543	6.543	12.455	11.234
164	26/01/2013	0,02027	0,02291	15,16	13,23	65,11	12,35	8.777	9.890	12.378	11.223
165	27/01/2013	0,01911	0,00701	51,00	15,66	67,89	32,11	8.777	9.890	12.378	11.223
166	28/01/2013	0,01517	0,01420	53,11	13,23	78,90	12,34	7.789	9.823	18.956	10.235
167	29/01/2013	0,02235	0,01757	74,56	11,34	67,18	12,00	21.313	9.762	12.345	11.990
168	30/01/2013	0,02522	0,02030	79,09	17,89	36,78	15,00	11.231	6.543	12.378	8.998
169	31/01/2013	0,02507	0,02179	78,11	18,99	22,10	12,30	7.788	9.890	18.956	17.654

170	01/02/2013	0,02691	0,01774	65,11	12,35	57,89	11,11	21.456	20.984	12.345	11.245
171	02/02/2013	0,02345	0,01342	44,00	12,45	37,89	12,09	6.543	7.856	7.766	11.233
172	03/02/2013	0,02204	0,01449	48,00	34,00	67,18	12,00	8.777	9.823	13.456	12.678
173	04/02/2013	0,02682	0,01929	49,01	9,00	75,67	32,11	9.871	12.312	12.367	7.889
174	05/02/2013	0,02739	0,02045	33,11	8,00	48,90	5,00	10.100	9.988	21.345	19.870
175	06/02/2013	0,02051	0,01802	23,11	8,78	78,34	14,56	22.341	21.333	13.677	11.223
176	07/02/2013	0,01408	0,01439	45,67	5,00	77,34	18,99	6.543	6.543	12.455	11.234
177	08/02/2013	0,01102	0,01187	48,90	5,00	76,23	19,00	8.777	9.890	12.378	11.223
178	09/02/2013	0,01255	0,01384	45,23	16,78	67,18	12,00	7.789	9.823	18.956	10.235
179	10/02/2013	0,01513	0,01654	44,55	23,34	75,67	32,11	21.313	9.762	12.345	11.990
180	11/02/2013	0,01728	0,01838	67,89	22,00	56,11	12,34	6.754	5.674	12.389	11.234
181	12/02/2013	0,01940	0,02145	78,34	14,56	45,00	9,11	9.888	7.889	18.909	9.879
182	13/02/2013	0,02027	0,02291	77,34	18,99	16,78	45,67	7.834	6.543	19.001	7.899
183	14/02/2013	0,01933	0,00581	56,11	12,34	23,34	48,90	7.654	9.890	12.998	7.564
184	15/02/2013	0,01513	0,01654	48,90	5,00	23,11	8,78	3.241	3.123	7.789	6.654
185	16/02/2013	0,01728	0,01838	23,11	8,78	78,34	14,56	7.788	9.890	18.956	17.654
186	17/02/2013	0,01940	0,02145	45,67	5,00	77,34	18,99	6.543	6.543	12.455	11.234
187	18/02/2013	0,02027	0,02291	48,90	5,00	76,23	19,00	8.777	9.890	12.378	11.223

APÊNDICE II

USO DO RECICLO											
DIA	DATA	Produção de Biogás		Composição do Biogás %				DQO do Efluente mg.l ⁻¹			
		Reator 1 sem reciclo	Reator 2 com reciclo	Reator 1 sem reciclo		Reator 2 com reciclo		Reator 1 sem reciclo		Reator 2 com reciclo	
		m ³	m ³	%CH ₄	%CO ₂	%CH ₄	%CO ₂	DQO Entrada mg.l ⁻¹	DQO Saída mg.l ⁻¹	DQO Entrada mg.l ⁻¹	DQO Saída mg.l ⁻¹
1	19/02/2013	0,00097	0,00121	87,11	15,00	67,18	12,00	6.543	7.895	12.389	11.767
2	20/02/2013	0,00051	0,00114	78,11	16,78	78,90	12,00	8.777	12.345	18.909	17.867
3	21/02/2013	0,00041	0,00089	76,77	15,66	98,11	15,00	10.100	12.342	19.001	14.324
4	22/02/2013	0,00034	0,00072	34,56	13,23	45,17	11,11	15.678	14.352	12.998	11.234
5	23/02/2013	0,00034	0,00072	45,00	11,34	43,12	9,11	9.888	12.563	11.234	9.878
6	24/02/2013	0,00034	0,00072	67,00	15,00	65,11	12,35	7.834	6.543	21.345	12.342
7	25/02/2013	0,00034	0,00072	45,23	16,78	67,18	12,00	7.654	9.890	7.766	6.672
8	26/02/2013	0,00032	0,00113	44,55	23,34	75,67	32,11	12.312	9.823	13.456	11.221
9	27/02/2013	0,00030	0,00187	67,89	22,00	56,11	12,34	7.654	9.762	7.765	11.234
10	28/02/2013	0,00030	0,00187	98,11	21,21	78,34	12,30	7.723	5.674	8.877	9.879
11	01/03/2013	0,00030	0,00187	35,66	21,56	98.23	11,11	13.456	7.889	8.865	7.899
12	02/03/2013	0,00030	0,00187	67,89	19,09	18,14	12,09	17.892	9.823	12.456	10.987
13	03/03/2013	0,00010	0,00461	55,66	12,11	77,11	12,34	13.456	9.762	18.956	19.878
14	04/03/2013	0,00000	0,00739	23,45	9,00	73.23	11,23	11.231	6.543	12.378	8.998
15	05/03/2013	0,00035	0,01123	34,51	16,78	65,11	12,35	7.788	9.890	18.956	17.654
16	06/03/2013	0,00146	0,01810	34,00	23,34	67,18	12,00	21.456	20.984	12.345	11.245
17	07/03/2013	0,00100	0,00998	47,00	15,66	36,78	15,00	6.543	7.856	7.766	11.233
18	08/03/2013	0,00104	0,00559	51,00	13,23	22,10	12,30	8.777	9.823	13.456	12.678
19	09/03/2013	0,00129	0,01759	53,11	11,34	57,89	11,11	9.871	12.312	12.367	7.889
20	10/03/2013	0,00032	0,00113	74,56	15,00	37,89	12,09	10.100	9.988	21.345	19.870
21	11/03/2013	0,00030	0,00187	89,99	16,78	77,11	12,34	22.341	21.333	13.677	11.223
22	12/03/2013	0,00030	0,00187	66,01	16,78	73.23	11,23	6.543	6.543	12.455	11.234
23	23/03/2013	0,00515	0,01340	34,23	23,34	65,11	12,35	8.777	9.890	12.378	11.223
24	24/03/2013	0,01028	0,01759	34,00	54,23	67,18	12,00	22.341	20.999	21.345	19.878
25	15/03/2013	0,00941	0,01868	23,10	43,00	36,78	15,00	6.543	5.566	19.878	19.888
26	16/03/2013	0,00662	0,02140	22,79	23,22	77,11	12,34	8.777	7.892	9.988	8.899
27	17/03/2013	0,00532	0,02361	15,16	13,23	73.23	11,23	7.789	6.624	23.456	23.567
28	18/03/2013	0,00532	0,02520	87,11	28,11	65,11	12,35	21.313	20.981	21.345	22.345
29	19/03/2013	0,00515	0,01340	78,11	25,11	67,18	12,00	6.754	5.567	10.989	11.989
30	20/03/2013	0,00495	0,00583	76,77	29,09	36,78	15,00	22.131	17.890	22.897	22.099
31	21/03/2013	0,01103	0,01310	34,56	12,34	77,11	12,34	1.564	5.674	12.378	11.456
32	22/03/2013	0,01115	0,01253	45,00	45,00	73.23	11,23	12.341	7.889	18.956	11.233
33	23/03/2013	0,01517	0,01420	67,00	35,23	65,11	12,35	8.897	9.823	12.345	12.678
34	24/03/2013	0,02235	0,01757	45,23	37,89	56,11	9,10	8.765	9.762	12.367	10.987
35	25/03/2013	0,02522	0,02030	44,55	56,78	78,34	12,30	12.342	6.543	21.345	19.878

36	26/03/2013	0,02507	0,02179	67,89	15,00	98,23	11,11	6.543	9.890	7.766	8.998
37	27/03/2013	0,02691	0,01774	98,11	16,78	18,14	12,09	8.777	6.543	13.456	11.234
38	28/03/2013	0,02345	0,01342	35,66	23,23	22,10	32,11	9.871	9.890	12.998	11.223
39	29/03/2013	0,02204	0,01449	67,89	28,11	57,89	12,34	7.789	6.655	11.234	10.235
40	30/03/2013	0,02682	0,01929	56,89	28,61	37,89	23,33	21.313	12.333	12.453	11.990
41	31/03/2013	0,02739	0,02045	23,10	29,09	65,11	12,00	6.754	5.544	12.378	11.234
42	01/04/2013	0,02051	0,01802	22,79	12,34	65,11	15,00	10.100	9.900	18.956	9.879
43	02/04/2013	0,01408	0,01439	15,16	45,00	65,11	12,35	22.341	12.678	12.345	7.899
44	03/04/2013	0,01028	0,01759	34,00	54,23	67,18	12,00	22.341	20.999	21.345	19.878
45	05/04/2013	0,00941	0,01868	23,10	43,00	36,78	15,00	6.543	5.566	19.878	19.888
46	05/04/2013	0,00662	0,02140	22,79	23,22	77,11	12,34	8.777	7.892	9.988	8.899
47	06/04/2013	0,00532	0,02361	15,16	13,23	73,23	11,23	7.789	6.624	23.456	23.567
48	07/04/2013	0,00156	0,00402	87,11	28,11	65,11	12,35	21.313	20.981	21.345	22.345
49	08/04/2013	0,00156	0,00402	78,11	25,11	67,18	12,00	6.754	5.567	10.989	11.989
50	09/04/2013	0,02051	0,01802	76,77	29,09	36,78	15,00	22.131	17.890	22.897	22.099
51	10/04/2013	0,01408	0,01439	34,56	12,34	77,11	12,34	1.564	5.674	12.378	11.456
52	11/04/2013	0,01019	0,0104	87,55	11,13	84,76	14,11	5.670	5.090	5.500	5.300
53	12/04/2013	0,01019	0,0104	86,81	10,11	83,68	13,78	5.500	5.101	5.342	5.234
54	13/04/2013	0,01016	0,0104	87,32	11,25	85,73	12,12	5.589	5.123	5.643	5.211
55	14/04/2013	0,01088	0,01168	89,01	11,22	84,9	11,22	5.562	5.133	5.541	5.121
56	15/04/2013	0,01021	0,01234	86,57	10,98	85,66	13,1	5.890	5.122	5.511	5.111
57	16/04/2013	0,01049	0,01234	86,93	12,3	84,69	12,3	5.566	5.135	5.211	5.467
58	17/04/2013	0,01005	0,01341	86,84	10,92	83,68	13,91	5.512	5.167	5.450	5.542
59	18/04/2013	0,01009	0,01237	87,45	11,22	84,75	14,22	4.556	5.122	5.451	5.160
60	19/04/2013	0,02264	0,02523	74,84	24,18	74,84	24,14	9.012	3.801	8.120	2.799
61	20/04/2013	0,03113	0,03831	77,89	23,38	74,19	23,43	9.087	4.101	7.890	3.245
62	21/04/2013	0,03332	0,03681	75,67	22,61	74,67	23,26	8.700	3.672	7.899	2.999
63	22/04/2013	0,03213	0,03438	78,01	22,52	73,01	24,52	9.061	3.870	7.656	2.765
64	23/04/2013	0,03368	0,04237	75,43	23,31	74,54	23,31	9.079	3.840	7.809	2.256
65	24/04/2013	0,03499	0,04137	74,56	22,63	74,06	22,63	9.050	3.845	7.789	2.768
66	25/04/2013	0,03135	0,03364	75,78	23,89	74,08	23,69	9.045	3.782	8.230	2.878
67	26/04/2013	0,02455	0,03133	76,03	24,22	73,03	23,22	9.079	3.678	7.990	2.345
68	27/04/2013	0,02904	0,03799	83,62	14,31	82,76	16,43	15.050	9.878	7.670	4.891
69	28/04/2013	0,02943	0,03899	83,52	13,14	82,65	16,14	15.890	8.979	6.980	4.990
70	29/04/2013	0,02892	0,03889	83,41	13,33	81,34	16,33	14.323	7.677	6.555	4.998
71	30/04/2013	0,02808	0,03808	83,31	16,52	82,36	16,52	16.545	8.978	6.789	4.890
72	01/05/2013	0,02802	0,03856	84,26	16,33	83,43	16,33	15.789	7.867	7.890	4.789
73	02/05/2013	0,02568	0,03855	82,11	17,63	82,01	16,63	15.999	9.888	7.889	4.934
74	03/05/2013	0,02933	0,03991	83,21	16,91	83,02	16,91	15.890	7.886	7.878	4.876
75	04/05/2013	0,02877	0,0388	83,2	17,42	81,32	16,42	16.789	7.889	7.999	4.987
76	05/05/2013	0,00889	0,00787	77,62	16,43	76,18	16,43	11.110	9.099	14.890	7.890
77	06/05/2013	0,00899	0,00796	77,52	18,14	75,15	16,14	14.567	11.290	13.890	7.623
78	07/05/2013	0,0089	0,00796	77,12	18,63	77,12	16,63	14.323	11.023	15.670	7.232
79	08/05/2013	0,00889	0,00796	76,82	16,52	76,82	16,52	13.245	11.902	14.232	7.211
80	09/05/2013	0,00881	0,00793	87,55	11,13	84,76	14,11	14.212	11.579	14.780	7.123

81	10/05/2013	0,00887	0,00791	86,81	10,11	83,68	13,78	14.234	11.909	15.678	7.300
82	11/05/2013	0,00889	0,00792	87,32	11,25	85,73	12,12	14.333	11.590	14.900	7.123
83	12/05/2013	0,00888	0,00763	89,01	11,22	84,9	11,22	14.267	11.789	14.323	7.323
84	13/05/2013	0,01019	0,01040	86,57	10,98	85,66	13,10	5.670	5.090	5.500	5.300
85	14/05/2013	0,01019	0,01040	86,93	12,30	84,69	12,30	5.500	5.101	5.342	5.234
86	15/05/2013	0,01016	0,01040	86,84	10,92	83,68	13,91	5.589	5.123	5.643	5.211
87	16/05/2013	0,01088	0,01168	87,45	11,22	84,75	14,22	5.562	5.133	5.541	5.121
88	17/05/2013	0,00097	0,00121	34,23	23,34	65,11	12,35	8.777	9.890	12.378	11.223
89	18/05/2013	0,00051	0,00114	34,00	54,23	67,18	12,00	22.341	20.999	21.345	19.878
90	19/05/2013	0,00041	0,00089	23,10	43,00	36,78	15,00	6.543	5.566	19.878	19.888
91	20/05/2013	0,00034	0,00072	22,79	23,22	77,11	12,34	8.777	7.892	9.988	8.899
92	21/05/2013	0,00034	0,00072	15,16	13,23	73,23	11,23	7.789	6.624	23.456	23.567
93	22/05/2013	0,00034	0,00072	87,11	28,11	65,11	12,35	21.313	20.981	21.345	22.345
94	23/05/2013	0,00034	0,00072	78,11	25,11	67,18	12,00	6.754	5.567	10.989	11.989
95	24/05/2013	0,00032	0,00113	76,77	29,09	36,78	15,00	22.131	17.890	22.897	22.099
96	25/05/2013	0,00030	0,00187	34,56	12,34	77,11	12,34	1.564	5.674	12.378	11.456
97	26/05/2013	0,00030	0,00187	45,00	45,00	73,23	11,23	12.341	7.889	18.956	11.233
98	27/05/2013	0,00030	0,00187	67,00	35,23	65,11	12,35	8.897	9.823	12.345	12.678
99	28/05/2013	0,00030	0,00187	45,23	37,89	56,11	9,10	8.765	9.762	12.367	10.987
100	29/05/2013	0,00010	0,00461	44,55	56,78	78,34	12,30	12.342	6.543	21.345	19.878
101	30/05/2013	0,00000	0,00739	67,89	15,00	98.23	11,11	6.543	9.890	7.766	8.998
102	31/05/2013	0,00035	0,01123	98,11	16,78	18,14	12,09	8.777	6.543	13.456	11.234
103	01/06/2013	0,00146	0,01810	35,66	23,23	22,10	32,11	9.871	9.890	12.998	11.223
104	02/06/2013	0,00100	0,00998	34,23	23,34	65,11	12,35	8.777	9.890	12.378	11.223
105	03/06/2013	0,00104	0,00559	34,00	54,23	67,18	12,00	22.341	20.999	21.345	19.878
106	04/06/2013	0,00129	0,01759	23,10	43,00	36,78	15,00	6.543	5.566	19.878	19.888
107	05/06/2013	0,00304	0,02598	34,56	12,34	77,11	12,34	1.564	5.674	12.378	11.456
108	06/06/2013	0,00566	0,01685	45,00	45,00	73,23	11,23	12.341	7.889	18.956	11.233
109	07/06/2013	0,00948	0,01290	67,00	35,23	65,11	12,35	8.897	9.823	12.345	12.678
110	08/06/2013	0,01156	0,01349	45,23	37,89	56,11	9,10	8.765	9.762	12.367	10.987
111	09/06/2013	0,00097	0,00121	44,55	56,78	78,34	12,30	12.342	6.543	21.345	19.878
112	10/06/2013	0,00051	0,00114	67,89	15,00	98.23	11,11	6.543	9.890	7.766	8.998
113	11/06/2013	0,00041	0,00089	23,10	43,00	36,78	15,00	6.543	5.566	19.878	19.888
114	12/06/2013	0,00034	0,00072	34,56	12,34	77,11	12,34	1.564	5.674	12.378	11.456
115	13/06/2013	0,00034	0,00072	45,00	45,00	73,23	11,23	12.341	7.889	18.956	11.233
116	14/06/2013	0,00034	0,00072	67,00	35,23	65,11	12,35	8.897	9.823	12.345	12.678
117	15/06/2013	0,00034	0,00072	45,23	37,89	56,11	9,10	8.765	9.762	12.367	10.987
118	16/06/2013	0,00032	0,00113	34,56	12,34	77,11	12,34	1.564	5.674	12.378	11.456
119	17/06/2013	0,00030	0,00187	45,00	45,00	73,23	11,23	12.341	7.889	18.956	11.233
120	18/06/2013	0,00030	0,00187	67,00	35,23	65,11	12,35	8.897	9.823	12.345	12.678
121	19/06/2013	0,00030	0,00187	45,23	37,89	56,11	9,10	8.765	9.762	12.367	10.987
122	20/06/2013	0,00030	0,00187	44,55	56,78	78,34	12,30	12.342	6.543	21.345	19.878
123	21/06/2013	0,00010	0,00461	67,89	15,00	98.23	11,11	6.543	9.890	7.766	8.998
124	22/06/2013	0,02235	0,01757	74,56	11,34	67,18	12,00	21.313	9.762	12.345	11.990
125	23/06/2013	0,02522	0,02030	79,09	17,89	36,78	15,00	11.231	6.543	12.378	8.998

126	24/06/2013	0,02507	0,02179	78,11	18,99	22,10	12,30	7.788	9.890	18.956	17.654
127	25/06/2013	0,02691	0,01774	65,11	12,35	57,89	11,11	21.456	20.984	12.345	11.245
128	26/06/2013	0,02345	0,01342	44,00	12,45	37,89	12,09	6.543	7.856	7.766	11.233
129	27/06/2013	0,02204	0,01449	48,00	34,00	67,18	12,00	8.777	9.823	13.456	12.678
130	28/06/2013	0,02682	0,01929	49,01	9,00	75,67	32,11	9.871	12.312	12.367	7.889
131	29/06/2013	0,02739	0,02045	33,11	8,00	48,90	5,00	10.100	9.988	21.345	19.870
132	30/06/2013	0,02051	0,01802	23,11	8,78	78,34	14,56	22.341	21.333	13.677	11.223
133	01/07/2013	0,01408	0,01439	45,67	5,00	77,34	18,99	6.543	6.543	12.455	11.234
134	02/07/2013	0,02235	0,01757	74,56	11,34	67,18	12,00	21.313	9.762	12.345	11.990
135	03/07/2013	0,02522	0,02030	79,09	17,89	36,78	15,00	11.231	6.543	12.378	8.998
136	04/07/2013	0,00104	0,00559	34,00	54,23	67,18	12,00	22.341	20.999	21.345	19.878
137	04/07/2013	0,00129	0,01759	23,10	43,00	36,78	15,00	6.543	5.566	19.878	19.888
138	06/07/2013	0,00304	0,02598	34,56	12,34	77,11	12,34	1.564	5.674	12.378	11.456
139	07/07/2013	0,00566	0,01685	45,00	45,00	73,23	11,23	12.341	7.889	18.956	11.233
140	08/07/2013	0,00948	0,01290	67,00	35,23	65,11	12,35	8.897	9.823	12.345	12.678
141	09/07/2013	0,01156	0,01349	45,23	37,89	56,11	9,10	8.765	9.762	12.367	10.987
142	10/07/2013	0,00097	0,00121	44,55	56,78	78,34	12,30	12.342	6.543	21.345	19.878
143	11/07/2013	0,00051	0,00114	67,89	15,00	98.23	11,11	6.543	9.890	7.766	8.998
144	12/07/2013	0,00104	0,00559	34,00	54,23	67,18	12,00	22.341	20.999	21.345	19.878
145	13/07/2013	0,00129	0,01759	23,10	43,00	36,78	15,00	6.543	5.566	19.878	19.888
146	14/07/2013	0,00304	0,02598	34,56	12,34	77,11	12,34	1.564	5.674	12.378	11.456
147	15/07/2013	0,00566	0,01685	45,00	45,00	73,23	11,23	12.341	7.889	18.956	11.233
148	16/07/2013	0,00948	0,01290	67,00	35,23	65,11	12,35	8.897	9.823	12.345	12.678
149	17/07/2013	0,01156	0,01349	45,23	37,89	56,11	9,10	8.765	9.762	12.367	10.987
150	18/07/2013	0,00097	0,00121	44,55	56,78	78,34	12,30	12.342	6.543	21.345	19.878
151	19/07/2013	0,00051	0,00114	67,89	15,00	98.23	11,11	6.543	9.890	7.766	8.998
152	20/07/2013	0,01255	0,01384	65,11	12,35	22,10	12,30	7.789	9.823	18.956	10.235
153	21/07/2013	0,01513	0,01654	11,44	12,34	36,78	15,00	21.313	9.762	12.345	11.990
154	22/07/2013	0,01728	0,01838	37,89	12,09	45,00	9,11	6.754	5.674	12.389	11.234
155	23/07/2013	0,01940	0,02145	78,00	8,09	43,23	3,23	11.231	6.543	12.378	8.998
156	24/07/2013	0,02027	0,02291	34,00	8,91	66,01	28,11	7.788	9.890	18.956	17.654
157	25/07/2013	0,01922	0,00611	45,00	9,11	34,23	28,11	21.456	20.984	12.345	11.245
158	26/07/2013	0,01517	0,01420	67,18	12,00	23,45	29,09	6.543	7.856	7.766	11.233
159	27/07/2013	0,02235	0,01757	45,00	9,11	45,23	16,78	8.777	9.823	13.456	12.678
160	28/07/2013	0,02522	0,02030	23,11	8,78	78,34	14,56	9.871	12.312	12.367	7.889
161	29/07/2013	0,02507	0,02179	45,67	5,00	77,34	18,99	10.100	9.988	21.345	19.870
162	30/07/2013	0,02691	0,01774	48,90	5,00	76,23	19,00	22.341	21.333	13.677	11.223
163	31/07/2013	0,02345	0,01342	45,23	16,78	67,18	12,00	6.543	6.543	12.455	11.234
164	01/08/2013	0,02204	0,01449	44,55	23,34	75,67	32,11	8.777	9.890	12.378	11.223
165	02/08/2013	0,02682	0,01929	67,89	22,00	56,11	12,34	7.789	9.823	18.956	10.235
166	03/08/2013	0,02739	0,02045	56,11	12,34	78,00	8,09	21.313	9.762	12.345	11.990
167	04/08/2013	0,02051	0,01802	34,00	8,91	34,00	8,91	6.754	5.674	12.389	11.234
168	05/08/2013	0,01408	0,01439	45,00	9,11	45,00	9,11	9.888	7.889	18.909	9.879
169	06/08/2013	0,01102	0,01187	67,18	12,00	67,18	12,00	7.834	6.543	19.001	7.899
170	07/08/2013	0,01255	0,01384	36,78	15,00	23,11	8,78	7.654	9.890	12.998	7.564

APÊNDICE III

TEMPERATURA DO AFLUENTE											
DIA	DATA	Produção de Biogás		Composição do Biogás %				DQO do Efluente mg.l ⁻¹			
		Reator 1 temperatura ambiente	Reator 2 com aquecimento	Reator 1 temperatura ambiente		Reator 2 com aquecimento		Reator 1 temperatura ambiente		Reator 2 com aquecimento	
		m ³	m ³	%CH ₄	%CO ₂	%CH ₄	%CO ₂	DQO Entrada mg.l ⁻¹	DQO Saída mg.l ⁻¹	DQO Entrada mg.l ⁻¹	DQO Saída mg.l ⁻¹
1	19/02/2013	0,00097	0,00121	87,11	15,00	67,18	12,00	6.543	7.895	12.389	11.767
2	20/02/2013	0,00051	0,00114	78,11	16,78	78,90	12,00	8.777	12.345	18.909	17.867
3	21/02/2013	0,00041	0,00089	76,77	15,66	98,11	15,00	10.100	12.342	19.001	14.324
4	22/02/2013	0,00034	0,00072	34,56	13,23	45,17	11,11	15.678	14.352	12.998	11.234
5	23/02/2013	0,00034	0,00072	45,00	11,34	43,12	9,11	9.888	12.563	11.234	9.878
6	24/02/2013	0,00034	0,00072	67,00	15,00	65,11	12,35	7.834	6.543	21.345	12.342
7	25/02/2013	0,00034	0,00072	45,23	16,78	67,18	12,00	7.654	9.890	7.766	6.672
8	26/02/2013	0,00032	0,00113	44,55	23,34	75,67	32,11	12.312	9.823	13.456	11.221
9	27/02/2013	0,00030	0,00187	67,89	22,00	56,11	12,34	7.654	9.762	7.765	11.234
10	28/02/2013	0,00030	0,00187	98,11	21,21	78,34	12,30	7.723	5.674	8.877	9.879
11	01/03/2013	0,00030	0,00187	35,66	21,56	98,23	11,11	13.456	7.889	8.865	7.899
12	02/03/2013	0,00030	0,00187	67,89	19,09	18,14	12,09	17.892	9.823	12.456	10.987
13	03/03/2013	0,00010	0,00461	55,66	12,11	77,11	12,34	13.456	9.762	18.956	19.878
14	04/03/2013	0,00000	0,00739	23,45	9,00	73,23	11,23	11.231	6.543	12.378	8.998
15	05/03/2013	0,00035	0,01123	34,51	16,78	65,11	12,35	7.788	9.890	18.956	17.654
16	06/03/2013	0,00146	0,01810	34,00	23,34	67,18	12,00	21.456	20.984	12.345	11.245
17	07/03/2013	0,00100	0,00998	47,00	15,66	36,78	15,00	6.543	7.856	7.766	11.233
18	08/03/2013	0,00104	0,00559	51,00	13,23	22,10	12,30	8.777	9.823	13.456	12.678
19	09/03/2013	0,00129	0,01759	53,11	11,34	57,89	11,11	9.871	12.312	12.367	7.889
20	10/03/2013	0,00032	0,00113	74,56	15,00	37,89	12,09	10.100	9.988	21.345	19.870
21	11/03/2013	0,00030	0,00187	89,99	16,78	77,11	12,34	22.341	21.333	13.677	11.223
22	12/03/2013	0,00030	0,00187	66,01	16,78	73,23	11,23	6.543	6.543	12.455	11.234
23	23/03/2013	0,00515	0,01340	34,23	23,34	65,11	12,35	8.777	9.890	12.378	11.223
24	24/03/2013	0,01028	0,01759	34,00	54,23	67,18	12,00	22.341	20.999	21.345	19.878
25	15/03/2013	0,00941	0,01868	23,10	43,00	36,78	15,00	6.543	5.566	19.878	19.888
26	16/03/2013	0,00662	0,02140	22,79	23,22	77,11	12,34	8.777	7.892	9.988	8.899
27	17/03/2013	0,00532	0,02361	15,16	13,23	73,23	11,23	7.789	6.624	23.456	23.567
28	18/03/2013	0,00532	0,02520	87,11	28,11	65,11	12,35	21.313	20.981	21.345	22.345
29	19/03/2013	0,00515	0,01340	78,11	25,11	67,18	12,00	6.754	5.567	10.989	11.989
30	20/03/2013	0,00495	0,00583	76,77	29,09	36,78	15,00	22.131	17.890	22.897	22.099
31	21/03/2013	0,01103	0,01310	34,56	12,34	77,11	12,34	1.564	5.674	12.378	11.456
32	22/03/2013	0,01115	0,01253	45,00	45,00	73,23	11,23	12.341	7.889	18.956	11.233
33	23/03/2013	0,01517	0,01420	67,00	35,23	65,11	12,35	8.897	9.823	12.345	12.678
34	24/03/2013	0,02235	0,01757	45,23	37,89	56,11	9,10	8.765	9.762	12.367	10.987
35	25/03/2013	0,02522	0,02030	44,55	56,78	78,34	12,30	12.342	6.543	21.345	19.878

36	26/03/2013	0,02507	0,02179	67,89	15,00	98,23	11,11	6.543	9.890	7.766	8.998
37	27/03/2013	0,02691	0,01774	98,11	16,78	18,14	12,09	8.777	6.543	13.456	11.234
38	28/03/2013	0,02345	0,01342	35,66	23,23	22,10	32,11	9.871	9.890	12.998	11.223
39	29/03/2013	0,02204	0,01449	67,89	28,11	57,89	12,34	7.789	6.655	11.234	10.235
40	30/03/2013	0,02682	0,01929	56,89	28,61	37,89	23,33	21.313	12.333	12.453	11.990
41	31/03/2013	0,02739	0,02045	23,10	29,09	65,11	12,00	6.754	5.544	12.378	11.234
42	01/04/2013	0,02051	0,01802	22,79	12,34	65,11	15,00	10.100	9.900	18.956	9.879
43	02/04/2013	0,01408	0,01439	15,16	45,00	65,11	12,35	22.341	12.678	12.345	7.899
44	03/04/2013	0,01028	0,01759	34,00	54,23	67,18	12,00	22.341	20.999	21.345	19.878
45	05/04/2013	0,00941	0,01868	23,10	43,00	36,78	15,00	6.543	5.566	19.878	19.888
46	05/04/2013	0,00662	0,02140	22,79	23,22	77,11	12,34	8.777	7.892	9.988	8.899
47	06/04/2013	0,00532	0,02361	15,16	13,23	73,23	11,23	7.789	6.624	23.456	23.567
48	07/04/2013	0,00156	0,00402	87,11	28,11	65,11	12,35	21.313	20.981	21.345	22.345
49	08/04/2013	0,00156	0,00402	78,11	25,11	67,18	12,00	6.754	5.567	10.989	11.989
50	09/04/2013	0,02051	0,01802	76,77	29,09	36,78	15,00	22.131	17.890	22.897	22.099
51	10/04/2013	0,01408	0,01439	34,56	12,34	77,11	12,34	1.564	5.674	12.378	11.456
52	11/04/2013	0,01019	0,01040	87,55	11,13	84,76	14,11	5.670	5.090	5.500	5.300
53	12/04/2013	0,02513	0,01821	86,81	10,11	83,68	13,78	5.500	5.101	5.342	5.234
54	13/04/2013	0,03741	0,02095	87,32	11,25	85,73	12,12	5.589	5.123	5.643	5.211
55	14/04/2013	0,04249	0,03778	89,01	11,22	84,90	11,22	5.562	5.133	5.541	5.121
56	15/04/2013	0,02455	0,02990	86,57	10,98	85,66	13,10	5.890	5.122	5.511	5.111
57	16/04/2013	0,03229	0,02138	86,93	12,30	84,69	12,30	5.566	5.135	5.211	5.467
58	17/04/2013	0,02956	0,02552	86,84	10,92	83,68	13,91	5.512	5.167	5.450	5.542
59	18/04/2013	0,02877	0,02684	87,45	11,22	84,75	14,22	4.556	5.122	5.451	5.160
60	19/04/2013	0,03028	0,02745	74,84	24,18	74,84	24,14	8.120	2.799	9.012	3.801
61	20/04/2013	0,02937	0,02617	77,89	23,38	74,19	23,43	7.890	3.245	9.087	4.101
62	21/04/2013	0,02931	0,02612	75,67	22,61	74,67	23,26	7.899	2.999	8.700	3.672
63	22/04/2013	0,02841	0,02522	78,01	22,52	73,01	24,52	7.656	2.765	9.061	3.870
64	23/04/2013	0,03010	0,02643	75,43	23,31	74,54	23,31	7.809	2.256	9.079	3.840
65	24/04/2013	0,03913	0,03456	74,56	22,63	74,06	22,63	7.789	2.768	9.050	3.845
66	25/04/2013	0,04551	0,03927	75,78	23,89	74,08	23,69	8.230	2.878	9.045	3.782
67	26/04/2013	0,03898	0,03253	76,03	24,22	73,03	23,22	7.990	2.345	9.079	3.678
68	27/04/2013	0,01801	0,01400	83,62	14,31	82,76	16,43	15.050	15.150	5.013	4.891
69	28/04/2013	0,01213	0,00891	83,52	13,14	82,65	16,14	15.890	15.090	5.089	4.990
70	29/04/2013	0,01213	0,00891	83,41	13,33	81,34	16,33	14.323	14.323	5.145	4.998
71	30/04/2013	0,01213	0,00891	83,31	16,52	82,36	16,52	16.545	16.045	5.251	4.890
72	01/05/2013	0,01076	0,00860	84,26	16,33	83,43	16,33	15.789	15.789	5.155	4.789
73	02/05/2013	0,01008	0,00845	82,11	17,63	82,01	16,63	15.999	15.199	5.251	4.934
74	03/05/2013	0,01008	0,00845	83,21	16,91	83,02	16,91	15.890	15.090	5.123	4.876
75	04/05/2013	0,01008	0,00845	83,20	17,42	81,32	16,42	16.789	16.789	5.150	4.987
76	05/05/2013	0,03928	0,03768	77,62	16,43	76,18	16,43	11.110	14.570	14.890	7.890
77	06/05/2013	0,07727	0,07667	77,52	18,14	75,15	16,14	11.290	14.567	13.890	7.623
78	07/05/2013	0,03250	0,03244	77,12	18,63	77,12	16,63	11.023	14.323	15.670	7.232
79	08/05/2013	0,04789	0,04164	76,82	16,52	76,82	16,52	11.902	13.245	14.232	7.211
80	09/05/2013	0,04114	0,03279	87,55	11,13	84,76	14,11	11.579	14.212	14.780	7.123

81	10/05/2013	0,03612	0,02866	86,81	10,11	83,68	13,78	11.909	14.234	15.678	7.300
82	11/05/2013	0,03205	0,02583	87,32	11,25	85,73	12,12	11.590	14.333	14.900	7.123
83	12/05/2013	0,02513	0,01821	89,01	11,22	84,90	11,22	11.789	14.267	14.323	7.323
84	13/05/2013	0,03741	0,02095	86,57	10,98	85,66	13,10	5.670	5.090	5.500	5.300
85	14/05/2013	0,04249	0,03778	86,93	12,30	84,69	12,30	5.500	5.101	5.342	5.234
86	15/05/2013	0,02455	0,02990	86,84	10,92	83,68	13,91	5.589	5.123	5.643	5.211
87	16/05/2013	0,03229	0,02138	87,45	11,22	84,75	14,22	5.562	5.133	5.541	5.121
88	17/05/2013	0,02956	0,02552	34,23	23,34	65,11	12,35	8.777	9.890	12.378	11.223
89	18/05/2013	0,02877	0,02684	34,00	54,23	67,18	12,00	22.341	20.999	21.345	19.878
90	19/05/2013	0,03028	0,02745	23,10	43,00	36,78	15,00	6.543	5.566	19.878	19.888
91	20/05/2013	0,02937	0,02617	22,79	23,22	77,11	12,34	8.777	7.892	9.988	8.899
92	21/05/2013	0,02931	0,02612	15,16	13,23	73,23	11,23	7.789	6.624	23.456	23.567
93	22/05/2013	0,02841	0,02522	87,11	28,11	65,11	12,35	21.313	20.981	21.345	22.345
94	23/05/2013	0,03010	0,02643	78,11	25,11	67,18	12,00	6.754	5.567	10.989	11.989
95	24/05/2013	0,03913	0,03456	76,77	29,09	36,78	15,00	22.131	17.890	22.897	22.099
96	25/05/2013	0,04551	0,03927	34,56	12,34	77,11	12,34	1.564	5.674	12.378	11.456
97	26/05/2013	0,03214	0,04713	74,09	24,09	81,36	16,73	10.430	9.323	19.708	10.670
98	27/05/2013	0,03517	0,0471	75,23	23,98	81,09	16,28	10.578	9.245	19.545	10.690
99	28/05/2013	0,03521	0,04832	72,09	25,01	81,17	16,34	11.003	9.342	19.789	10.234
100	29/05/2013	0,03567	0,04826	71,89	23,55	81,62	16,33	10.501	9.234	19.879	6.899
101	30/05/2013	0,03571	0,04833	72,26	22,41	82,69	16,61	10.456	9.250	19.656	7.090
102	31/05/2013	0,03416	0,0568	73,96	24,71	82,63	16,81	10.121	9.252	19.989	7.123
103	01/06/2013	0,03412	0,04283	74,87	23,88	80,34	16,90	10.456	9.258	19.345	6.899
104	02/06/2013	0,03578	0,04805	75,88	24,22	80,45	16,80	10.345	9.123	19.990	7.011
105	03/06/2013	0,03052	0,05705	68,39	30,90	73,09	23,34	20.609	11.922	19.809	7.646
106	04/06/2013	0,03904	0,05765	67,89	29,89	72,65	23,43	20.789	11.989	19.878	7.645
107	05/06/2013	0,03900	0,05705	70,01	31,01	73,24	22,98	20.789	11.970	21.080	7.433
108	06/06/2013	0,03905	0,0577	67,89	29,98	72,34	23,34	20.676	11.902	22.082	7.223
109	07/06/2013	0,03807	0,05724	68,98	31,01	73,09	22,09	20.897	11.878	19.789	7.124
110	08/06/2013	0,04239	0,05773	70,09	31,01	72,34	23,45	20.113	11.901	18.776	7.689
111	09/06/2013	0,04004	0,05793	66,51	31,06	73,77	24,67	21.009	11.900	18.797	7.232
112	10/06/2013	0,04404	0,05833	67,99	32,56	73,67	23,56	19.991	11.980	19.177	7.334
113	11/06/2013	0,03714	0,06275	61,23	34,96	63,45	26,34	19.303	10.987	19.766	7.750
114	12/06/2013	0,03812	0,07133	61,09	33,90	64,56	28,43	19.123	10.111	19.670	7.659
115	13/06/2013	0,03812	0,07204	61,72	34,76	65,67	26,33	19.245	11.009	18.750	7.789
116	14/06/2013	0,03879	0,0798	60,23	33,45	64,23	28,33	19.345	10.987	19.890	7.654
117	15/06/2013	0,03892	0,07833	65,01	32,56	64,24	27,21	19.232	9.888	19.980	7.761
118	16/06/2013	0,03817	0,08933	62,32	32,90	67,34	26,93	19.564	9.878	19.545	7.345
119	17/06/2013	0,03814	0,07328	62,34	34,34	64,23	27,47	19.322	9.134	19.323	7.700
120	18/06/2013	0,03812	0,07022	60,45	35,80	64,23	28,36	19.345	9.433	19.989	7.688
121	19/06/2013	0,03176	0,07184	65,60	38,96	74,56	25,63	27.899	9.323	18.122	6.999
122	20/06/2013	0,03014	0,07715	67,89	38,90	72,43	25,68	27.898	9.245	18.900	5.443
123	21/06/2013	0,03011	0,07791	61,72	38,76	71,10	25,63	27.656	9.342	18.798	6.788
124	22/06/2013	0,03069	0,07811	65,09	39,45	74,52	26,83	27.300	9.234	18.567	6.899
125	23/06/2013	0,03086	0,07361	65,01	38,76	73,13	26,72	29.808	9.300	18.762	5.143

126	24/06/2013	0,03069	0,07471	62,32	38,99	74,51	26,93	27.900	9.355	18.443	5.445
127	25/06/2013	0,03061	0,07104	66,05	39,34	73,20	26,57	26.980	9.324	17.898	5.677
128	26/06/2013	0,03012	0,07266	66,80	37,99	73,45	25,18	29.099	9.342	18.767	5.644
129	27/06/2013	0,03214	0,04713	74,09	24,09	81,36	16,73	10.430	9.323	19.708	10.670
130	28/06/2013	0,02682	0,01929	34,22	4,56	76,77	12,13	12.342	11.211	19.001	10.234
131	29/06/2013	0,02739	0,02045	56,11	22,33	69,23	14,14	26.555	21.333	12.998	5.673
132	30/06/2013	0,02051	0,01802	67,89	15,66	77,89	9,11	7.765	6.566	6.754	5.545
133	01/07/2013	0,01408	0,01439	65,34	34,56	77,11	15,23	10.100	9.890	22.131	8.120
134	02/07/2013	0,02235	0,01757	69,11	25,66	82,34	18,91	21.098	18.790	1.564	2.333
135	03/07/2013	0,02522	0,02030	75,66	34,11	78,91	12,13	10.982	9.870	12.998	11.234
136	04/07/2013	0,00104	0,00559	77,09	23,09	34,50	14,14	7.789	6.543	11.234	9.878
137	04/07/2013	0,00129	0,01759	34,22	11,98	45,11	15,35	21.345	19.801	21.345	12.342
138	06/07/2013	0,00304	0,02598	56,11	25,66	89,11	16,78	22.890	21.345	7.766	6.672
139	07/07/2013	0,00566	0,01685	67,89	15,15	69,23	14,14	12.389	11.234	13.456	11.221
140	08/07/2013	0,00948	0,01290	65,34	4,56	77,89	17,68	18.909	17.654	7.232	5.545
141	09/07/2013	0,01156	0,01349	67,89	22,33	92,12	12,34	19.001	17.220	8.991	8.120
142	10/07/2013	0,00097	0,00121	69,11	15,66	77,11	15,23	12.998	11.223	9.878	5.545
143	11/07/2013	0,00051	0,00114	75,66	34,56	82,34	18,91	6.754	5.567	13.424	8.120
144	12/07/2013	0,00104	0,00559	45,56	15,67	69,23	12,13	22.131	17.890	11.343	5.545
145	13/07/2013	0,00129	0,01759	77,89	11,98	77,89	14,14	1.564	5.674	15.222	8.120
146	14/07/2013	0,00304	0,02598	87,88	16,77	69,23	12,13	12.341	7.889	12.989	13.989
147	15/07/2013	0,00566	0,01685	33,11	18,77	77,89	14,14	8.897	9.823	5.445	11.212
148	16/07/2013	0,00948	0,01290	69,11	25,66	92,12	9,11	12.777	11.222	9.001	8.009
149	17/07/2013	0,01156	0,01349	75,66	34,11	89,11	12,12	11.999	10.909	12.311	11.221
150	18/07/2013	0,00097	0,00121	77,09	23,09	69,23	14,56	12.000	11.342	22.131	17.890
151	19/07/2013	0,00051	0,00114	34,22	11,98	77,89	15,67	12.345	11.232	1.564	5.674
152	20/07/2013	0,01255	0,01384	56,11	25,66	67,11	12,34	8.009	8.990	7.766	11.223
153	21/07/2013	0,01513	0,01654	67,89	4,56	34,11	15,35	7.561	6.676	13.456	11.234
154	22/07/2013	0,01728	0,01838	65,34	22,33	23,23	12,67	5.445	11.212	12.998	9.879
155	23/07/2013	0,01940	0,02145	67,89	15,66	22,11	14,14	9.889	10.909	11.234	7.899
156	24/07/2013	0,02027	0,02291	69,11	34,56	34,56	17,68	7.561	11.342	11.234	11.234
157	25/07/2013	0,01922	0,00611	75,66	25,66	23,67	12,34	5.445	3.445	7.766	6.656
158	26/07/2013	0,01517	0,01420	69,11	25,66	69,23	12,13	9.001	8.909	13.456	12.131
159	27/07/2013	0,02235	0,01757	75,66	34,11	77,89	14,14	6.543	7.895	12.367	11.345
160	28/07/2013	0,02522	0,02030	77,09	23,09	77,11	15,23	8.777	12.345	12.344	11.233
161	29/07/2013	0,02507	0,02179	34,22	25,66	82,34	18,91	10.100	12.342	9.991	8.998
162	30/07/2013	0,02691	0,01774	56,11	4,56	69,23	12,13	3.342	2.221	9.898	7.676
163	31/07/2013	0,02345	0,01342	67,89	22,33	77,89	14,14	11.343	10.990	8.991	7.881
164	01/08/2013	0,02204	0,01449	65,34	15,66	92,12	9,11	12.322	11.233	9.878	3.452
165	02/08/2013	0,02682	0,01929	67,89	34,56	89,11	8,10	12.345	11.232	13.424	10.234
166	03/08/2013	0,02739	0,02045	69,11	25,66	69,23	7,11	8.009	8.990	7.768	5.645
167	04/08/2013	0,02051	0,01802	75,66	11,98	77,89	6,11	7.561	6.676	5.553	6.789
168	05/08/2013	0,01408	0,01439	45,00	9,11	45,00	9,11	9.888	7.889	18.909	9.879
169	06/08/2013	0,01102	0,01187	67,18	12,00	67,18	12,00	7.834	6.543	19.001	7.899
170	07/08/2013	0,01255	0,01384	36,78	15,00	23,11	8,78	7.654	9.890	12.998	7.564

APÊNDICE IV



GERAÇÃO DE BIOMETANO A PARTIR DA VINHAÇA

Estudo preliminar– REV. 00

Piracicaba, 26 de Outubro de 2015.

Cliente	EDER GRANATO
Unidade	Destilaria de Etanol
Objeto	PLANTA ANAERÓBIA PARA PRODUÇÃO DE BIOMETANO A PARTIR DE VINHAÇA
Referências	Reator BIOPAQ®IC; Informações recebidas em por mail em 19/10/2015
Aos cuidados	Sr. Eder Fonzar Granato.

BASES DE PROJETO

1. OBJETIVO:

Gerar biometano a partir de vinhaça de destilaria produtora de etanol.

2. PREMISSAS BÁSICAS:

Processos Produtivos:	Etanol
Dias previstos de Safra (dias):	220
Dias efetivos de safra:	$220 \times 0,85 = 180$ dias
Produção de vinhaça (m ³ /safra):	765.000
Produção de vinhaça (m ³ /dia):	5.000
Produção de vinhaça (m ³ /h):	208
DQO total (mg/l ⁻¹):	20.000
DQO total (kgm ⁻³):	20

3. CARACTERÍSTICAS DA VINHAÇA BRUTA:

- Vazão Vinhaça.....5.000 m³/d
- Vazão média208 m³/h
- DQO.....20.000 mg/l (20kg/m³)
- Temperatura.....55 °C
- pH.....7
- Carga Orgânica a ser tratada (5.000x20).....100.000 Kg DQO/dia

4. CARACTERÍSTICAS DA VINHAÇA TRATADA:

- Vazão Vinhaça tratada.....5.000 m³/dia
- Eficiência de remoção em DQO.....70 %
- Fator de conversão DQO - biogás:.....0,43 Nm³ de biogás/kg DQO removida

5. PRODUÇÃO DE BIOGÁS:

Geração de Biogás = $100.000 \times 0,70 \times 0,43 = 30.100$ Nm³ de biogás/d
 = 1.255 Nm³ de biogás/h

Geração de Biometano = $30.100 \times 0,80 = 24.080$ Nm³ de metano/d
 = 1.003 Nm³ de metano/h

6. COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS LEVANTADA:

CH₄: 80 %

CO₂: 20 %

PCI = 8.500 kcal/Nm³ x 0,80 = 6.800 kcal/Nm³

Energia gerada = 24.080 X 6.800 = 163.744.000 kcal/dia

1 kW = 860 kcal

Produção de energia = 163.744.000/860 = 190.400 kW dia = 7.933 kWh

Eficiência motor estacionário = 30%

Geração Final de Energia = 190.400 x 0,30 = 57.120 kW dia = 2.380 kWh

Portanto:

1 m³ de vinhaça gera: 20 x 0,70 x 0,43 x 0,8 = 4,8 Nm³ de metano ou

1 m³ de vinhaça gera: 24.080/5.000 = 4,8 Nm³ de metano kWh (energia elétrica)

7. CONSUMOS ESTIMADOS DE INSUMOS:

Energia Elétrica = 63,8 kWh

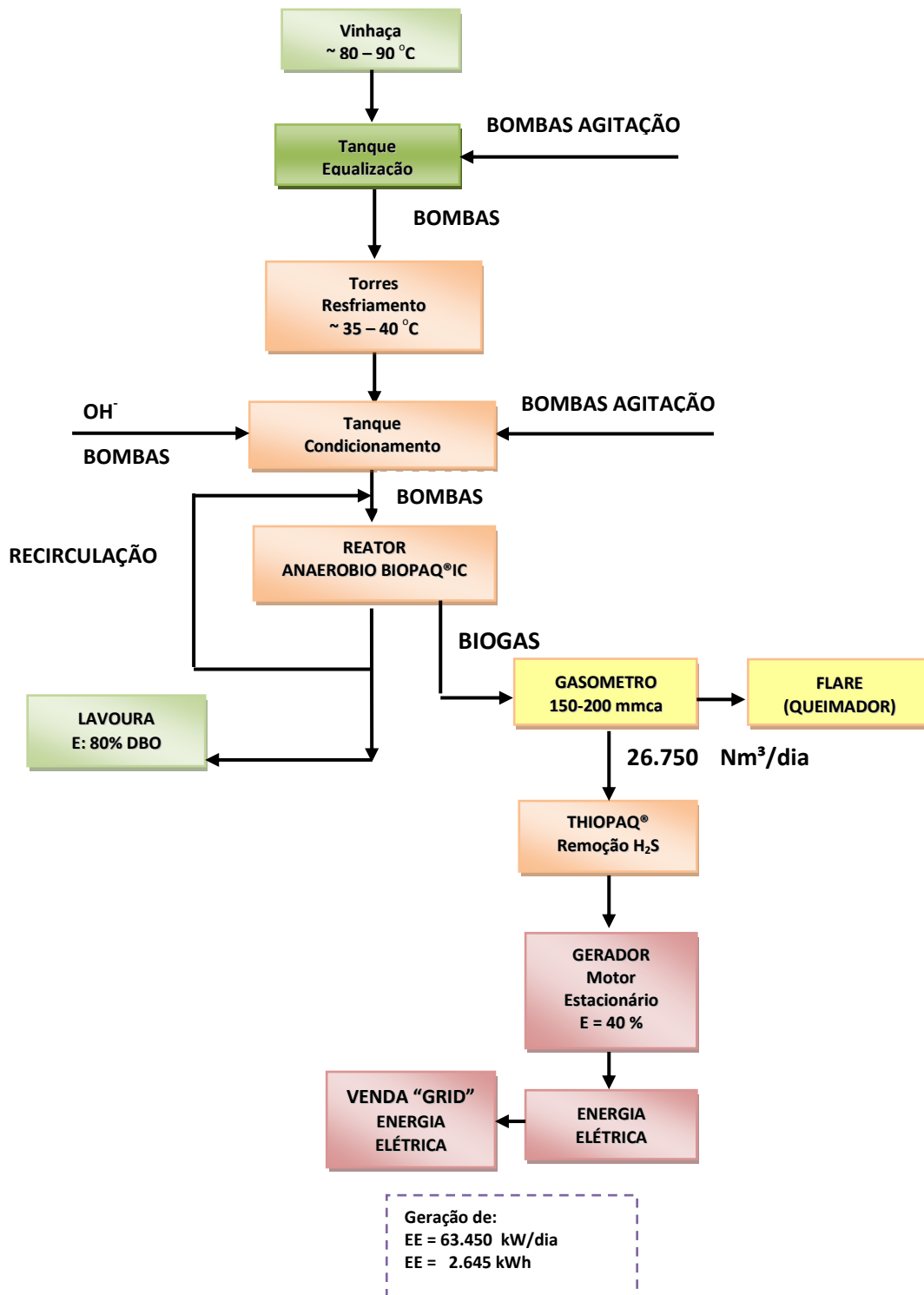
Soda Cáustica = 425 kg/dia = 17,7 kg/h

Água = 4,25 m³/d

Mão de Obra = (01) Operador de nível técnico / turno + (01) Analista químico (8horas/dia)

8. FLUXOGRAMA DO PROCESSO:

ANAERÓBICO: Utilizando o Reator Anaeróbio BIOPAQ®IC, com eficiência de remoção de DBO $\geq 80\%$.



9. RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS:

(01) Tanque de Condicionamento (TC):

Tipo = Cilíndrico, Vertical, Fechado.

Volume Útil = 215 m³

Dimensões = Ø 3,80 x 20,00 m

Material = Aço Carbono com proteção anticorrosiva.

(02) Bombas Centrifugas para agitação do Tanque de Condicionamento:

(01 reserva)

Q = 40 m³/h – 10 CV, inox 316, com selo mecânico.

Nota: serão instalados ejeto-misturadores em inox 316

(04) Ejeto-misturadores de 2" em aço inox 316

(01) Tanque para Solução de Hidróxido de Sódio (50%):

V = 30 m³, em fibra de vidro.

(02) Bomba Dosadora para Solução de Hidróxido de Sódio (50%):

(01 reserva)

Q = 0,5 m³/h – 1,0 CV, inox 316, helicoidais, com selo mecânico.

Serão equipadas com inversor de frequência

(03) Bombas centrífugas para alimentação do Reator Anaeróbio:

(01 reserva)

Q = 450 m³/h – 30 CV– inox 316, com selo mecânico.

(01) Reator Anaeróbio de Circulação Interna (BIOPAQ®IC)

Tipo = Cilíndrico, vertical, fechado.

Volume útil = 4.180 m³

Dimensões = Ø 15,00 x 24,00 m

Materiais = corpo / escada: aço carbono com proteção anticorrosiva

Internos : polipropileno / inox 316

(01) Gasômetro Pressurizador

Tipo = Campânula Flutuante.

Volume = 30 m³

Material = aço carbono, revestido com epóxi.

(01) Flare (Queimador de Biogás):

Tipo = Atmosférico com chama visível.

Capacidade = 2.000 m³/h

Material = Aço carbono / Inox 316

(01) SISTEMA PARA REMOÇÃO DE H₂S - THIOPAQ®:

Tipo: Biológico com (Scrubber), sistema aeróbio (reator biológico aeróbico) e um decantador para separação de enxofre.

Capacidade = 1.800 Nm³/h

Material = PRFV / PEAD

(01) Conjunto de Tubulações, Válvulas, Suportes e demais acessórios necessários para a interligação dos equipamentos.

(01) Conjunto de Instrumentos necessários para a operação semiautomática da planta:

(01) Controle automático de pH

(01) Medição Capacitiva de nível

(01) Medição Condutiva de nível

(02) Medição de vazão de efluente

(01) Medição de vazão de biogás

(01) PT 100 / Transmissor de temperatura

(06) Manômetros Indicadores de pressão

(01) Controle automático para Flare (termopar, ignitor, solenoide).

10. DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS:**10.1. ESCOPO PAQUES BRASIL:**

- Desenhos civis de formas e cargas;
- Engenharia básica e engenharia de detalhes;
- Equipamentos: Reator Anaeróbio (Costado + Internos), Gasômetro, Flare;
- Jateamento e pintura primer dos equipamentos em aço carbono;
- Supervisão de montagens / testes;
- Manuais de operação e manutenção;
- Treinamento de pessoal;
- Posta em marcha;

10.2. ESCOPO CLIENTE :

- Projeto estrutural civil executivo (bases);
- Execução das obras civis (bases);
- Equipamentos: Taque de Condicionamento,
- Equipamentos Eletromecânicos: Bombas centrífugas, ejetor-misturadores, tubulações, válvulas e acessórios.
- Instrumentos;
- Projeto/Materiais e Montagens Elétricas (CCM, Cabos, Mão de obra, ferramentas, etc.).
- Hardware e software de automação.
- Frete dos equipamentos;
- Montagens Eletromecânicas;
- Lodo Anaeróbio: 1.800 m³ (inoculo inicial – lodo granulado com 8% sólidos);
- Frete do lodo Anaeróbio;
- Pintura de acabamento dos equipamentos em aço carbono;

11. ÁREA NECESSÁRIA: (ANAERÓBIO + THIOPAQ)

A = 1.100 m² (55 x 20 m)

12. PRAZO PARA EXECUÇÃO: Aproximadamente 10 meses

13. DADOS DE PROJETO – THIOPAQ

O projeto do THIOPAQ® ofertado foi baseado na composição do biogás informada nos dados enviados pelo cliente:

Base de Projeto (Dados fornecidos pelo cliente):

Parâmetro	Unidade	Valor
Vazão de biogás	Nm ³ /h	1.255
Metano (CH ₄)	%v	80
Dióxido de carbono (CO ₂)	%v	20

14. CONSUMOS ESTIMADOS – THIOPAQ

Item	Unidade	Consumo
Soda Cáustica	Kg/h	17,7
Eletricidade	kWh	63,8
Água	m ³ /d	4,5

15. PLANILHA DE PREÇOS – ESTIMATIVA

FORNECIMENTO PAQUES BRASIL - CAPEX

Equipamentos e serviços

Valor total sem impostos:..... R\$ 5.734.861,00

Impostos incidentes no valor acima:

ICMS: 8,80%: R\$ 615.824,00

PIS/COFINS: 9,25%:..... R\$ 647.315,00

Valor total com impostos:..... R\$6.998.000,00

FORNECIMENTO CLIENTE

Equipamentos e serviços

Valor total:.....R\$ 5.667.000,00

FORNECIMENTO MOTO GERADORES GE

02 motogeradores instalados

Valor unitário:.....R\$ 2.394.000,00

Impostos incidentes PIS/COFINS + Frete (30%).....R\$ 718.000,00

Valor total:.....R\$ 6.224.000,00**16. INVESTIMENTO INICIAL:..... R\$ 18.889.000,00**