

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA E AMBIENTE

ADRIANA RIBEIRO DA SILVA

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR
DO BIOGÁS GERADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE
INDUSTRIAL DE CERVEJARIAS**

São Luís – MA

2014

ADRIANA RIBEIRO DA SILVA

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR
DO BIOGÁS GERADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE
INDUSTRIAL DE CERVEJARIAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Energia e Ambiente.

Orientador: Prof. Ms. Gerisval Alves Pessoa

**São Luís – MA
2014**

Silva, Adriana Ribeiro da

Viabilidade econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás gerado em estação de tratamento de efluente industrial de cervejarias/ Adriana Ribeiro da Silva. – São Luís, 2014.

55 f.

Orientador: Gerisval Alves Pessoa

Dissertação (Mestrado em Energia e Ambiente) – Universidade Federal do Maranhão, 2014.

1. Cervejaria 2. Efluente 3. Biogás e Energia

CDU 662.767.2

ADRIANA RIBEIRO DA SILVA

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR
DO BIOGÁS GERADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE
INDUSTRIAL DE CERVEJARIAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Energia e Ambiente.

Aprovada em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ms. Gerisval Alves Pessoa(Orientador)
Programa de Pós Graduação Energia e Ambiente (PPGEA/UFMA)

Profª Drª Kiany Sirley Brandão Cavalcante
Departamento de Química (IFMA)

Prof. Dr. Ulisses Nascimento
Programa de Pós Graduação Energia e Ambiente (PPGEA/UFMA)

Este estudo é dedicado ao meu esposo pelo constante incentivo, ao meu filho, motivo maior que encontrei para concluir este trabalho e ao meu chefe, pelo o apoio e compreensão cedida nos últimos 24 meses.

AGRADECIMENTOS

A Deus

“Que plantou em mim um sonho que hoje se materializa.

Que esteve comigo em toda minha caminhada, dando-me forças quando em mim já não havia.

Que me animou a seguir em frente quando a vontade era de abdicar.

E quando chorava em silêncio imaginando está só, Ele enxugou as lágrimas em meu rosto, enquanto cobria minha alma de carinho e consolo.

Aquele que me compreende muito mais do que posso entender.

Ao criador do céu, da terra e de tudo que há.

Ao meu melhor amigo... que sempre esteve e estará a me conduzir, o meu “Muito Obrigado”.

À minha família

“Por mais que evolua, cresça e me torne adulta, tenho certeza de que nunca serei tão independente e auto-suficiente que não precise mais de um carinho, um afago ou conselho familiar.

Aos Mestres

“Uns são homens; alguns são professores; outros são mestres.

Aos primeiros, escuta-se;

Aos segundos, respeita-se;

Aos últimos, segue-se.”

Aos Colegas

“Velhos amigos são como os lugares, são como palavras, são pássaros da noite, da eternidade... Lua cheia e branca, guarde a saudade e os amigos, para que sejam meu guia, minha estrada, meu caminho...”

À Universidade Federal do Maranhão

Pela oportunidade de aprendizagem e aperfeiçoamento.

À coordenação da pós graduação Energia e Ambiente

Por todo acompanhamento, orientação e dedicação para conquista com sucesso o título de mestre em Energia e Ambiente

A gerência e Diretoria Técnica do meu serviço

Pela disponibilidade para discussão dos resultados, apoio técnico e incentivo para tornar este trabalho em real e prático.

RESUMO

Várias estações de tratamento de efluentes industriais utilizam biogás, proveniente de processos anaeróbios, em usinas como fonte de combustível para grupos geradores de energia elétrica. Este biogás é composto principalmente de metano que resulta da digestão da matéria orgânica em biorreatores. O biogás como fonte de energia alternativa, pode ser uma saída viável para dois dos maiores problemas mundial que vem acompanhando o crescimento populacional: o consumo cada vez maior de energia e, o aumento da produção de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. A viabilidade desse tipo de utilização depende diretamente da capacidade produtiva de cada empreendimento. Este trabalho faz uma abordagem do estudo de viabilidade econômica do uso de biogás gerado em uma cervejaria para conversão em energia elétrica. Todos os dados levantados foram coletados durante o período de junho de 2013 a julho de 2014, no sistema de informações da empresa. Foi estudada a produção de biogás gerado na ETEI de uma cervejaria para conversão em energia elétrica. Assim como o valor de implantação do projeto de reaproveitamento de biogás, a oportunidade de redução de custo na produção de cerveja e demonstrado a viabilidade econômica do reaproveitamento do biogás como energia elétrica através dos indicadores financeiros mais tradicionais como *payback (pb)*, valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), índice de eficiência e taxa de atratividade. Devido o crescimento do consumo de bebidas e conseqüentemente geração de carga orgânica nos efluentes, temos como grande potencial nesse ramo a geração de biogás que pode ser convertida em energia elétrica utilizando tecnologia já dominada no mercado.

Palavra-chave: Cervejaria. Efluente. Biogás. Energia. Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

Several industrial wastewater treatment plants using biogas from anaerobic processes in plants as a source of fuel for generators of electricity. This biogas comprises mainly methane which results from the digestion of organic matter in bioreactors. Biogas as alternative energy source, can be a viable solution for two major global problems that comes with population growth: increasing energy consumption and increased production of solid, liquid and gaseous. The viability of such use depends directly on the capacity of each project. This work is an approach to the study of economic viability of biogas use generated in a brewery for conversion into electricity. All data collected were collected during the period from June 2013 to July 2014, in the company's information system. The biogas generated in ETEI a brewery for conversion to electricity was studied. As the deployment of value biogas reuse project, the cost reduction opportunity for brewing and demonstrated the economic viability of biogas reuse as electric power through more traditional financial indicators as payback (bp), net present value (NPV), internal rate of return (IRR), efficiency ratio and hurdle rate. Because the growth of drinking and consequently organic load in effluent generation, as we have great potential in this business the generation of biogas that can be converted into electrical energy using already dominated the market technology.

Keyword: Brewery. Effluent. Biogas. Economic Energy. feasibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma básico de uma cervejaria	15
Figura 2 - Fluxograma do processo de tratamento de efluente industrial em cervejaria	17
Figura 3 - Reatores UASB e IC	18
Figura 4 - Gasômetro	19
Figura 5 - Esquema simplificado da digestão anaeróbia com os compostos resultantes	20
Figura 6 - Relação entre o poder calorífico do biogás e a porcentagem em volume do metano.	24
Figura 7 - ETEI de uma cervejaria	32
Figura 8 - Fluxograma do sistema de conversão do Biogás em Energia Elétrica	34
Figura 9 - Índice per capita do consumo de cerveja no Brasil e Maranhão	36
Figura 10 - Produção de Cerveja Real e Tendência.....	37
Figura 11 - Produção de cerveja x consumo de água e geração de efluente	37
Figura 12 - Geração de Efluente x Geração de Biogás	39
Figura 13 - Potencial energético x Geração de Biogás.....	39
Figura 14 - Média mensal e potencial do ganho em custo com o reaproveitamento Biogás.	40
Figura 15 - Potencial energético x redução em custo e energia total	41
Figura 16 - Oportunidade em Custo com o reaproveitamento do biogás.....	41
Figura 17 - Ganho em custo	42
Figura 18 - Análise financeira do investimento	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição média do biogás	22
Tabela 2- Variação do poder calorífico em relação à composição do biogás	23
Tabela 3- Comparação PCI biogás com outros gases.....	24
Tabela 4 - Equivalência energética biogás	24
Tabela 5 - Levantamento dos indicadores fabris que justificam o trabalho	35
Tabela 6- Índice de consumo de água e geração de efluente	38
Tabela 7- Consumo de energia elétrica e potência instalada na ETEI.....	42
Tabela 8 - Consumo de energia elétrica e potência instalada na fábrica.....	43
Tabela 9- Indicadores econômicos de Viabilidade Financeira	44

LISTA DE SIGLAS

CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CH ₄	Gás Metano
Cva	Corrente Alternada
CV	Cavalo Vapor
DQO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ETEI	Estação de Tratamento de Efluente Industrial
ETA	Estação de tratamento de água
EPI	Equipamento Individual de Proteção
GEE	Gases Efeito Estufa
hL	Hectolitro
Kva	Kilovoltampere
kW	Kilowatts
Kv	Kilovolt
M ³	Metros cúbicos
PL	Produção Líquida
PPM	Parte por milhão
RAFA	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
SINDICERV	Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja
UASB	Upflow anaerobic sludge blanket

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	14
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CERVEJA	15
3.2 COMPOSIÇÃO DO EFLUENTE DE UMA CERVEJARIA	16
3.3 TRATAMENTO DO EFLUENTE CERVEJEIRO	17
3.4 BIOGÁS	19
3.5 TRATAMENTO ANAERÓBIO	19
3.6 MICROBIOLOGIA DOS REATORES QUE RESULTA NA FORMAÇÃO DO BIOGÁS	20
3.7 O BIOGÁS E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	22
3.8 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE BIOGÁS	25
3.9 BIOGÁS: UMA ALTERNATIVA A DEMANDA DE ENERGIA E DESTINAÇÃO ADEQUADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS	26
3.10 PROJEÇÃO PER CAPITA DA GERAÇÃO DE BIOGÁS	27
3.11 ASPECTOS AMBIENTAIS DO BIOGÁS	28
3.12 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	29
4 METODOLOGIA	32
4.1 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS GERADO	33
4.2 PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DE GRUPO GERADOR	34
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1 GERAÇÃO DE BIOGÁS E CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO REGIME DE OPERAÇÃO NORMAL DA CERVEJARIA	35
5.2 CENÁRIO DE PRODUÇÃO FABRIL: HISTÓRICO E FUTURO	36
5.3 GERAÇÃO DE EFLUENTE PARA SER TRATADO – GERANDO BIOGÁS	38
5.4 CURVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA X GERAÇÃO DE BIOGÁS	39
5.5 OPORTUNIDADE DE REDUÇÃO EM CUSTO E CONSUMO COM ENERGIA ELÉTRICA DE ACORDO COM O POTENCIAL ENERGÉTICO DO BIOGÁS	40
5.6 AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DA VIABILIDADE ECONOMICA DO PROJETO: PAYBACK, VPL, TIR E ÍNDICE DE EFICIÊNCIA	43
6 CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS	48
ANEXOS	52

1 INTRODUÇÃO

Ha urgência em se reduzir a concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera vem provocando a adoção de medidas regulamentadoras, como por exemplo, as resoluções CONAMA n° 08 de 6 de dezembro de 1990 e 382 de 26 de dezembro de 2006 referentes a qualidade do ar com parâmetros de emissões, que acabam obrigando aos grandes usuários do ar a investirem em fontes renováveis de energia para diminuir os impactos ambientais ocasionado por suas operações normais e, assim, atenderem requisitos legais sobre a qualidade do ar.

A prática da sustentabilidade é uma das maiores aliadas ao cumprimento dos requisitos ambientais legais, pois é por meio desta prática, que as indústrias de pequeno, médios e grandes portes vêm se engajando com políticas ambientais voltadas para redução do consumo de insumos na produção e, reaproveitando o máximo de seus resíduos em suas receitas.

O biogás é um resíduo gasoso que pode ser gerado em aterros sanitários e estações de tratamento de efluentes formado por uma mistura de gases provenientes da digestão anaeróbica da matéria orgânica presente em resíduos sólidos e líquidos (CHERNICHARO, 1997). Sabe-se que o biogás é uma mistura de gases onde a maior quantidade é representada por o gás metano (50 a 90%) que possuem um poder calorífico que varia de 5000 a 7000 kcal/m³ a depender da concentração de metano (CH₄) presente na amostra de biogás (METCALF & EDDY, 2003; VAN HAANDEL e LETTING, 1994).

Atualmente o biogás gerado nas estações de tratamento de efluente industrial (ETEI), da empresa em estudo, é queimado num *flare*¹ antes de ser lançado na atmosfera em forma de dióxido de carbono (CO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e vapor d'água. A combustão do biogás na forma atual representa um desperdício econômico por não reaproveitar a energia calorífica presente neste resíduo. Um dos entraves para o não reaproveitamento do biogás como energia elétrica em cervejarias é o fato de não haver estudos específicos por unidade fabril que demonstre a viabilidade do custo benefício com a implantação desse tipo de

¹ é uma torre onde ocorre a queima de gases excedentes do processo anaeróbio.

projeto que, além de representar um retorno financeiro a empresa, é de grande relevância a medidas mitigadoras de poluição atmosférica.

A produção média de biogás para ETEI em estudo é de aproximadamente 5.000 m³/dia, que representa um potencial energético de 12.000 kW/dia aproximadamente. A quantidade de biogás gerado e o potencial energético deste montante foi projetado sob a produção do último ano da empresa, considerando que a cervejaria vem expandido seu mercado em torno de 5%, observa-se uma correlação entre a geração de efluente e volume de produção de cerveja, ou seja, quanto maior a produção de cerveja, maior o potencial em gerar energia elétrica a partir do reaproveitamento do biogás (AMBEV, 2014).

Na busca pelo desenvolvimento de um sistema de tratamento autossustentável é essencial o gerenciamento integrado dos subprodutos gerados no processo, que otimizam seus benefícios e minimizam os impactos negativos deles decorrentes (LOBATO, 2010). Nessa perspectiva, a empresa em estudo possui meta de reaproveitamento de 99,5% da geração de seus resíduos e subprodutos, apresentando um atendimento acima da meta para a unidade fabril em estudo. Atualmente a unidade em estudo não reaproveita apenas três tipos de resíduos (varrição, orgânico e biogás), de um total de trinta e cinco gerados em todo campo fabril e setores administrativos.

Particularmente no Brasil, com o aumento da implantação de reatores e biodigestores anaeróbios para o tratamento de esgoto doméstico, industrial e de dejetos animais, é possível prever que a recuperação e o uso direto do biogás poderá ser uma fonte alternativa de energia importante (LOBATO, 2010). Ademais, com os adventos ambientais atuais de escassez de água, enchentes e outros impactos ambientais provocados por a elevada poluição das águas superficiais em função da falta de saneamento básico, a opção de sobrevivência tornar-se obrigatória, num futuro bem próximo, o tratamento de todo esgoto gerado em 100% dos municípios. O que implica diretamente na oportunidade de geração de energia elétrica a partir do biogás gerado no tratamento desses esgotos. Segundo SNIS (2011) o percentual de tratamento de esgoto no Brasil é em torno de 25%, cuja elevação desse número estar voltado para região Sul e Sudeste, pois a realidade de alguns Estado da região Norte e Nordeste é menor que 10%.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade econômica da geração de energia elétrica a partir do reaproveitamento do biogás gerado na estação de tratamento de efluente industrial de uma cervejaria.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Estudar a correlação entre o cenário de produção da fábrica e a geração dos principais indicadores fabris que justificam o trabalho;
- Conhecer o potencial energético do biogás a partir do cenário histórico e futuro de produção;
- Avaliar a oportunidade em diminuição do custo com energia elétrica na fábrica a partir do reaproveitamento do biogás;
- Demonstrar os custos com a implantação e manutenção do projeto de cogeração em ETEI's da Cia que ainda não reaproveita o biogás.
- Apresentar a avaliação dos indicadores econômicos financeiros para a viabilidade do projeto.

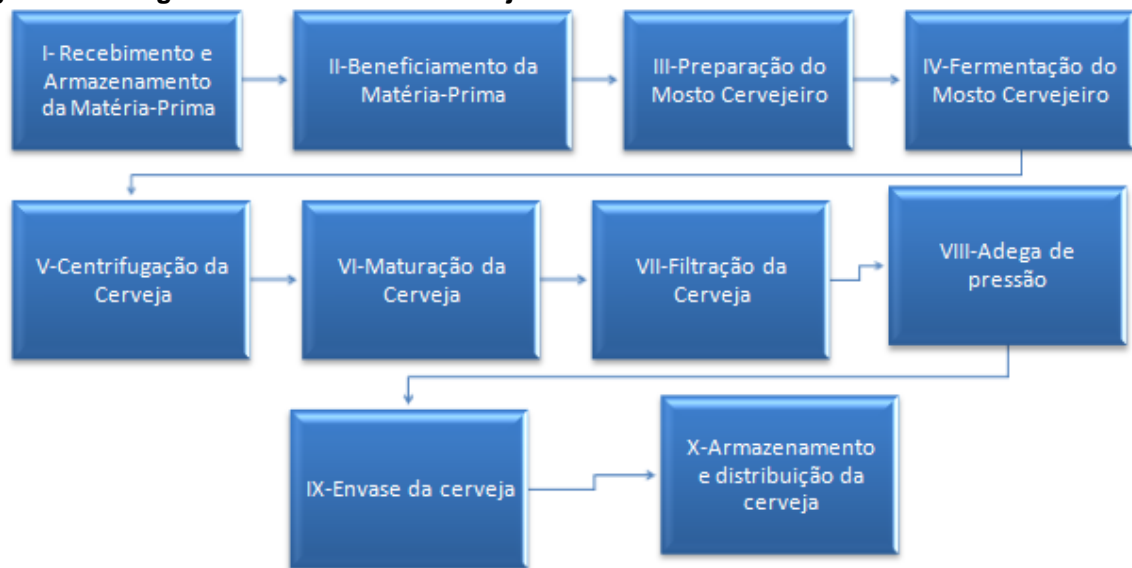
3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CERVEJA

A cerveja é uma das bebidas mais antiga que existe. Alguns pesquisadores acreditam que a bebida existia na Mesopotâmia e Suméria no ano de 10 000 antes de Cristo (a.C). Em 1981 foi encontrado uma tabela gravada em uma pedra que descreve um tipo de cerveja que se elaborava na babilônia no ano 6 000 a.C. Na antiguidade os chineses também elaboravam a cerveja do mesmo modo que as civilizações pré-colombianas da América, utilizando o milho no lugar da cevada para produzir a bebida (INDUSTRIA, 2005).

A cerveja é uma bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto de malte de cevada em água potável por ação da levedura cervejeira (KUNZE, 2005). O processo de fabricação passa pelas etapas ilustradas na figura 1.

Figura 1- Fluxograma básico de uma cervejaria



Fonte: Autora, 2014.

- I. Recebimento e Armazenamento da Matéria-Prima: Malte, sacarose e Gritz de milho;
- II. Beneficiamento da Matéria-Prima: Moagem, peneiramento e pesagem do malte;

- III. Preparação do Mosto Cervejeiro: Cozimento das matérias primas e suas devidas proporções;
- IV. Fermentação do Mosto Cervejeiro: Bioquímica de conversão do mosto em cerveja, nesta fase que ocorrer a formação de etanol e os demais compostos químicos típicos da cerveja;
- V. Centrifugação da Cerveja: Processo que retira por força centrífuga o fermento que não foi retirado por decantação no final da fermentação;
- VI. Maturação da Cerveja: Período de repouso da cerveja a temperaturas negativa para estabilização das propriedades organolépticas da cerveja;
- VII. Filtração da Cerveja: filtração final para diluição e incorporação de CO₂;
- VIII. Adega de pressão: Armazenamento de cerveja pronta para envasar;
- IX. Envase da cerveja: Processo de enchimento nas embalagens;
- X. Armazenamento e distribuição da cerveja: Final da cadeia produtiva da cerveja. Nesta etapa a cerveja estar pronto para ser entregue ao consumidor.

3.2 COMPOSIÇÃO DO EFLUENTE DE UMA CERVEJARIA

O processo de fabricação de cerveja reúne diversas etapas de operação de equipamentos e atividades que possuem como aspecto ambiental normal o descarte de efluente líquido. Esse efluente é rico em carga orgânica, uma mistura de compostos orgânicos complexos.

No decorrer dos procedimentos específicos por setor de produção, descrito no tópico anterior e ilustrado na figura 01, é gerado efluente inerente às atividades executadas e, esse efluente é matéria prima para produção do biogás.

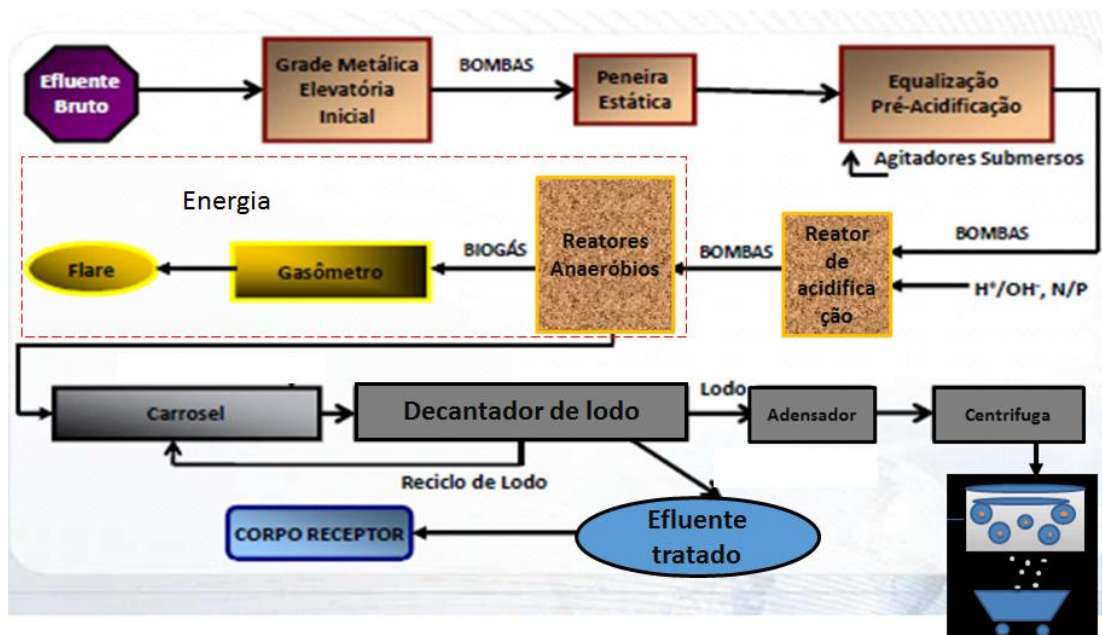
A qualidade e a quantidade do efluente gerado em cervejaria variam em função do regime operacional que a fábrica estiver executando (preparação do mosto, fermentação, filtração, assepsia, envasamento, entre outros).

Cada regime de operação contribuir com quantidade específica de cargas orgânica que é elevada se houver ocorrência de anormalidade de processo. Esse efluente é formado basicamente por compostos orgânicos que são de forma geral facilmente biodegradável, por ser em sua maioria açúcares, amido solúvel, etanol, ácidos voláteis, entre outros (SPERLING et al, 2005).

3.3 TRATAMENTO DO EFLUENTE CERVEJEIRO

A rede coletora de efluentes é proveniente dos esgotos da unidade fabril, advindos da fabricação de cerveja, refeitórios, setor administrativo e etc. Esta rede coletora é composta por adutoras subterrâneas que conduze por gravidade todo efluente produzido na fábrica até a ETEI onde será tratado e gerado o biogás conforme demonstração no fluxograma abaixo (Figura 2)

Figura 2 - Fluxograma do processo de tratamento de efluente industrial em cervejaria



Fonte: Pesquisa Autora

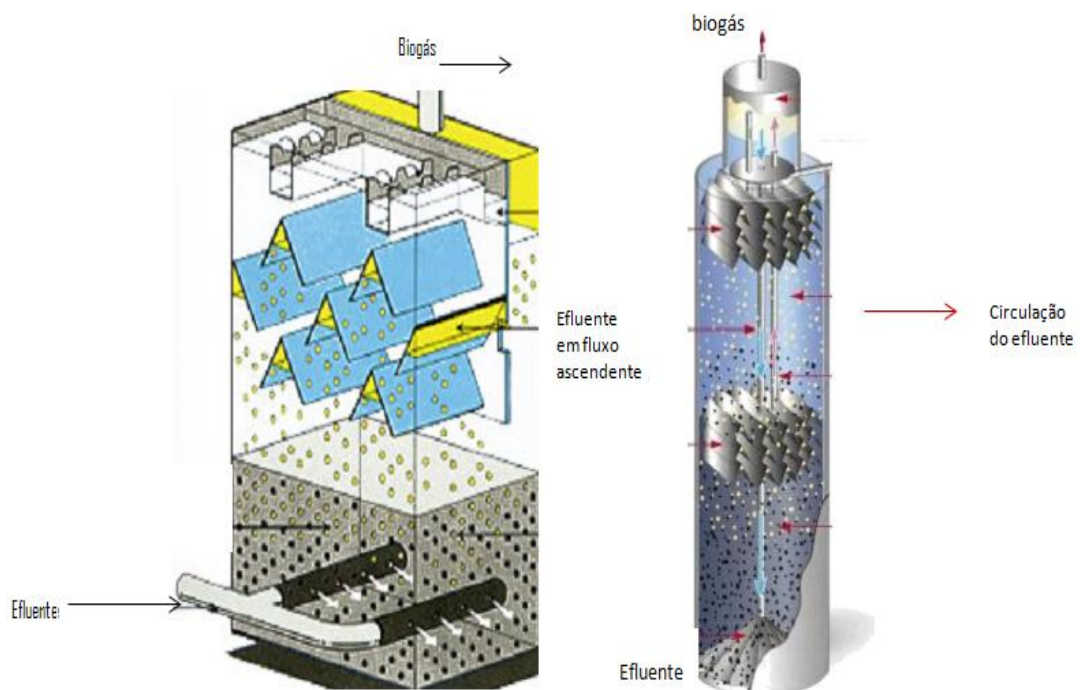
O afluente bruto chega até a estação de tratamento através de gravidade, passa pelo gradeamento onde os sólidos grosseiros ficam retidos. Em seguida, o efluente passa pela caixa de areia, onde ocorre a decantação de toda areia presente no efluente. Posteriormente, o efluente é bombeado por bombas centrífugas até a peneira estática, que tem a função de retirar os sólidos mais finos que não ficaram retidos no gradeamento por ter tamanho menor que o espaçamento do gradeamento e, nem na caixa de areia, por ter densidade menor que a areia presente do efluente. Prosseguido o efluente é levado por gravidade até o tanque de equalização, visando à homogeneização do mesmo, com posterior bombeamento para o reator de acidificação. Nesta fase iniciam-se as

principais etapas de reações físico-química e microbiológica para conversão propriamente dita da carga orgânica presente no efluente em biogás.

A começar por a hidrólise da matéria orgânica, representada por lipídios, proteínas e carboidratos, que é quebrada em cadeias menores para que assim consigam penetrar a membrana das bactérias nos reatores anaeróbios, onde será gerado o biogás.

A próxima etapa ocorre com o efluente sendo bombeado para os reatores de metanização, conhecidos também como reatores anaeróbios tipo RAFA (reator anaeróbio de fluxo ascendente) e reator de circulação interna IC (Figura 3), onde há degradação biológica de aproximadamente 85%(dados fornecidos por a empresa em estudo) da carga orgânica do efluente, por meio da ação do lodo anaeróbio sobre os nutrientes presentes no efluente equalizado, como proteínas, lipídios, sais, glicídios, fósforo (P) e nitrogênio (N), que são transformados no biogás composto por gás carbônico, sulfídrico e metano.

Figura 3 - Reatores UASB e IC



Fonte: BLOPAQ®IC, 2014

O separador de fase realiza a separação das fases líquida (efluente), gasosa (gases formados no reator de metanização) e sólida (lodo). O gás é conduzido

para um *flare*, onde ocorre a sua queima. A medição do gás é realizada por um gasômetro Endress + Hause tipo D801170/2000, Figura 04.

Figura 4 - Gasômetro (Medidor Biogás)



Fonte: Autora, 2014

3.4 BIOGÁS

Segundo Barin (2009), o biogás é resultante de uma mistura gasosa resultante da degradação anaeróbia da matéria orgânica dos resíduos sólidos depositados em aterros sanitários e dos efluentes industriais e esgotos domésticos, sendo formado principalmente por metano e dióxido de carbono. Quanto maior a formação de metano, mais energia por unidade de massa o biogás contém.

3.5 TRATAMENTO ANAERÓBIO

Em princípio, todos os compostos orgânicos, não oleosos, podem ser degradados pela via anaeróbia, sendo que o processo se mostra mais eficiente e mais econômico quando os dejetos são facilmente biodegradáveis. A digestão anaeróbia também tem sido muito aplicada para o tratamento de efluentes de indústrias em geral, LOBATO, 2010.

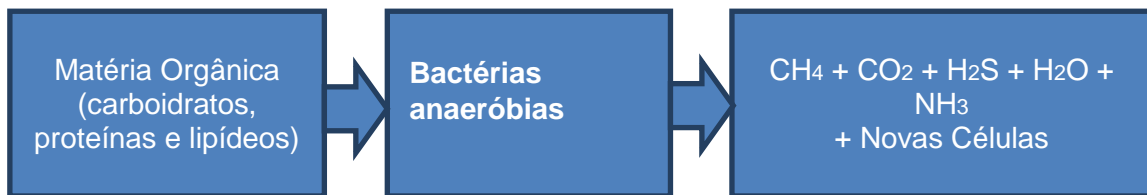
Em relação ao tratamento de esgotos domésticos tem-se verificado uma crescente utilização da tecnologia anaeróbia (Sperling, 2005), notadamente através de reator anaeróbio de fluxo ascendente (Uasb). Porém percebe-se que ainda é tímido o uso de reatores anaeróbios para tratamento de efluente doméstico e industrial. Um dos possíveis motivos pode estar relacionado ao valor de

implantação, manutenção e custo benefício de reatores anaeróbio frente a reatores aeróbios que são relativamente menores para tratamento de uma carga orgânica variando entre baixa e média. Observa-se claramente que a carga orgânica de esgoto doméstico é baixa comparando-se a carga orgânica de uma cervejaria.

3.6 MICROBIOLOGIA DOS REATORES QUE RESULTA NA FORMAÇÃO DO BIOGÁS

A digestão anaeróbia é um processo biológico, onde a matéria orgânica presente no efluente é convertida, através de grupos de microrganismos trabalhando interativamente, em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico, amônia e novas células bacterianas, (CHERNICHARO, 1997; FORESTI, 1994). Conforme figura 5.

Figura 5 - Esquema simplificado da digestão anaeróbia com os compostos resultantes



Fonte: (CHERNICHARO,1997).

As bactérias anaeróbia degradam a matéria orgânica sob fases típicas de bactérias fermentativas:

- Hidrólise: Nessa etapa as bactérias fermentativa excretam enzimas que hidrolisam os sólidos orgânicos complexos insolúveis (carboidratos, proteínas e lipídeos) presente nos efluentes em materiais dissolvidos, de composição mais simples (açúcar, aminoácidos e peptídeos). Dessa maneira os sólidos dissolvidos consegue penetrar pela parede celular bacteriana (CHERNICHARO, 1997). Em resumo pode se afirmar que nessa etapa as cadeias de polímeros presente no efluente são rompidas e convertidas em cadeias de monômeros.
- Acidogênese: nessa etapa as bactérias acidogênicas absorve para o interior de suas células os monômeros, formado na etapa anterior de hidrólise, convertendo-os em ácidos graxos, CO₂ e H₂ e, posteriormente, excretando-os para o meio líquido, o que torna o pH da fase baixo, em torno de 4,5 a 5,5 (CHERNICHARO, 1997).

- Acetogênese: essa é a fase responsável pela oxidação dos produtos gerados na acidogênese, ácidos graxos, através das bactérias acetogênicas são convertidos em produtos com acetato, CO₂ e hidrogênio(CHERNICHARO, 1997).
- Metanogênese: nessa fase o grupo de bactérias, as metanogênicas, cumpre a função de transformar o acetato, gerado na fase anterior, em metano e outros gases que compõe o biogás.

Após o efluente passar por os processos físico-químico e microbiológico citados acima, este é levado por gravidade para o tanque de aeração, onde a matéria orgânica residual do tratamento anaeróbio se estabiliza na presença de oxigênio e condições ideais do meio.

Os microrganismos responsáveis pela biodegradação e a matéria orgânica em suspensão propiciam a formação de flocos que facilitam a depuração deste material e o processo de sedimentação. Nesta etapa, grande parte da matéria orgânica é transformada em gás carbônico (aproximadamente 30%), que é liberado para a atmosfera, além da formação de novas bactérias (cerca de 70%), produzindo grande quantidade de lodo residual.

Em seguida, a massa líquida, composta por sólidos em suspensão na forma de flocos de microrganismos e água, que foi tratada biologicamente no tanque de aeração, passa por gravidade ao decantador com a finalidade de clarificar o efluente, através da separação da parte sólida.

A partir dessa etapa o efluente está com todas as características físicas químico de atendimento de qualidade para destinação adequada de efluentes tratados.

A qualidade do efluente é avaliada através de metodologia físico-química e microbiológica no decorrer de todas as etapas do tratamento. Dentre elas análise de DQO (Demanda Química de Oxigênio) que foi usada para determinação da conversão em biogás.

3.7 O BIOGÁS E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

Em geral o estudo de viabilidade de emprego do biogás inicia-se pela avaliação da equivalência energética entre o biogás e o combustível a ser substituído. Além do poder calorífico, é preciso que se analisem outras propriedades como a presença de contaminantes, acidez e pressão. Tais considerações influenciam para uma previsão adequada das adaptações necessárias ao emprego do biogás, quer seja como único recurso energético ou como combustível complementar.

De acordo com Goldemberg, (2006) existem dezenas de substâncias, como o gás sulfídrico causador de mau cheiro, traços de siloxinas, que reduzem a vida útil dos equipamentos de uso energético, a vapor d'água. O biogás é um gás incolor, geralmente inodoro (se não contiver demasiadas impurezas) é insolúvel em água. A composição média da mistura gasosa que forma o biogás é mostrada na tabela 01.

Tabela 1- Composição média do biogás

Composto	Porcentagem na Mistura Gasosa (%)
Metano (CH ₄)	50 a 80
Dióxido de Carbono (CO ₂)	20 a 40
Hidrogênio (H ₂)	1 a 3
Azoto (N ₂)	0,5 a 3
Gás Sulfídrico e outros(H ₂ O, CO)	1 a 5

Fonte La Farge (1979) apud Coldebella (2006)

O biogás é um gás de fraca densidade e leve. Mais leve do que o ar, contrariamente ao butano e ao propano, ele suscita menores riscos de explosão na medida em que a sua acumulação se torna mais difícil. A sua fraca densidade implica, em contrapartida, que ele ocupe um volume significativo e que a sua liquefação seja mais difícil, o que lhe confere algumas desvantagens em termos de transporte e utilização (GOLDEBELLA, 2006).

O biogás, em condições normais de produção, devido ao seu baixo teor de monóxido de carbono não se torna tóxico, num entanto torna-se corrosivo em função das impurezas que contém esse biometano. O gás mais corrosivo desta mistura é o sulfureto de hidrogênio que ataca, além de outros materiais, o cobre, o

latão, e o aço, desde que a sua concentração seja considerável. Quando o teor deste gás é fraco, é, sobretudo, o cobre que se torna mais sensível (ZACHOW, 2000).

Nos casos de teores elevados, da ordem de 1% (excepcionais nas condições normais de produção do biogás) torna-se tóxico e mortal. A presença do sulfureto de hidrogênio pode constituir um problema a partir do momento em que haja uma combustão do gás e que sejam inalados os produtos desta combustão, dado que a formação do dióxido de enxofre (SO₂) é extremamente nocivo, causando, perturbações a nível pulmonar (YOKOMIZO, 2008).

Sabe-se que o biogás é um gás combustível devido à presença do metano que tem poder calorífico inferior (P.C.I.) em cerca de 5000 a 7000 kcal/m³ em função de sua composição neste gás (METCALF & EDDY, 2003; VAN HAANDEL e LETTING, 1994).

Segundo Parchen, (2001) o biogás tem seu poder calorífico diretamente relacionado com a quantidade de metano existente na mistura. O biogás, por possuir o gás metano como principal componente, é incolor e inodoro.

A tabela 2 demonstra a variação do poder calorífico do biogás em relação à composição.

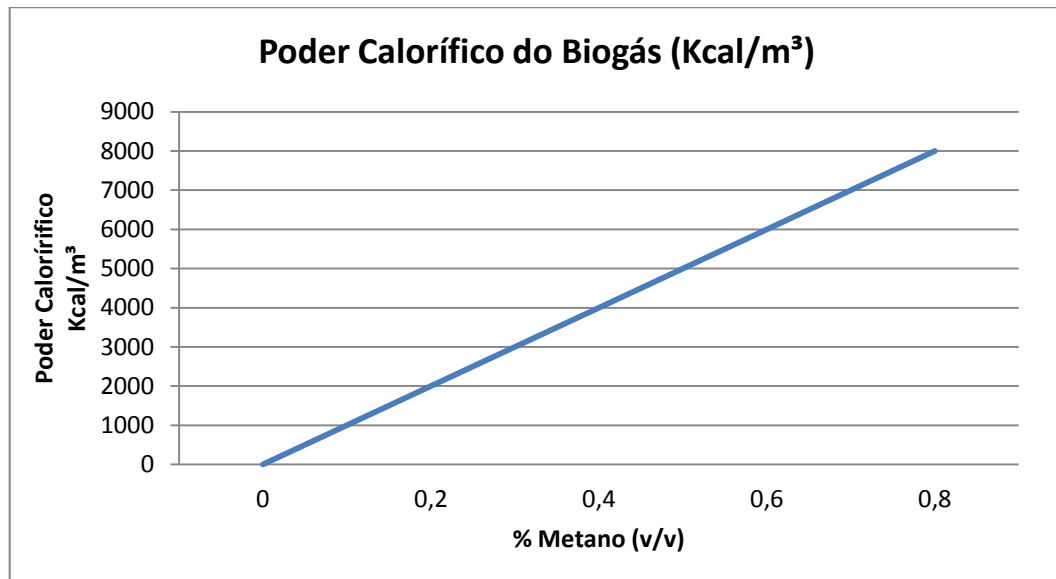
Tabela 2- Variação do poder calorífico em relação à composição do biogás

Composição química do biogás	Peso específico (kg/Nm³)	P.C.I. (kcal/m³)
10% CH ₄ , 90% CO ₂	1,8393	465,43
40% CH ₄ , 60% CO ₂	1,4643	2,338,52
60% CH ₄ , 40% CO ₂	1,2143	4,229,98
65% CH ₄ , 35% CO ₂	1,1518	4,831,14
75% CH ₄ , 25% CO ₂	1,0268	6,253,01
95% CH ₄ , 05% CO ₂	0,7768	10,469,60
99% CH ₄ , 01% CO ₂	0,7268	11,661,02

Fonte: Avellar, 2001 apud Lannicelli 2008.

A figura 6 a seguir apresenta o resultado do estudo realizado por Alves (2000), onde foi estabelecida uma relação entre o poder calorífico do biogás e a porcentagem, em volume, de metano constituinte no biogás.

Figura 6 - Relação entre o poder calorífico do biogás e a porcentagem em volume do metano.



Fonte: Alves, 2000.

A concentração de metano de 80% e o P.C.I de 6500 kcal/m³ é a mais usualmente encontrada nas amostras de biogás gerado nas ETEI's de cervejarias.

Tabela 3 - Comparação PCI biogás com outros gases

GÁS	P.C.I. (Kcal/m³)
Metano	8500
Propano	22000
Butano	28000
Gás de Coqueria	4400
Gás de Cidade	4000
Gás natural	8554
Biogás	5500

Fonte: Adaptado de Alves, 2000 e Zachow, 2000.

A equivalência energética entre o biogás e outros combustíveis utilizados no dia a dia está demonstrada na tabela abaixo.

Tabela 4 - Equivalência energética biogás

1 m ³ de biogás = 5500 kcal, é equivalente a:	
1,7 m ³ de metano	0,25 m ³ de propano
0,8 l de gasolina	1,3 l de álcool
2 kg de carboneto de cálcio	0,7 l de gásóleo
6,5 kw/h de eletricidade	2,7 kg de madeira
1,4 kg de carvão de madeira	0,2 m ³ de butano

Fonte: Adaptado de (Zachow, 2000).

3.8 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE BIOGÁS

A produção de energia elétrica a partir do biogás é uma prática constante em vários setores da economia. No setor agrícola, por exemplo, as granjas de suínos usam o processo de digestão anaeróbica para tratar as águas residuais da limpeza das pocilgas e produzir o biogás para, em seguida, convertê-lo em energia elétrica. Atualmente no cenário urbano, a geração de energia elétrica a partir do biogás está se expandindo, principalmente nos aterros sanitários (SOARES, 2010).

O aproveitamento do biogás, produto do tratamento de esgoto, para geração de energia elétrica proporciona uma redução no potencial de poluição do meio ambiente, uma vez que é composto por acentuada concentração de gás metano (CH_4), cerca de 24 vezes superior ao dióxido de carbono (CO_2), no que se refere ao efeito estufa (GODOY, 2006).

Segundo Costa (2006) para que o biogás possa ser utilizado como combustível, seja em motores, turbinas a gás ou microturbinas, é necessário identificar sua vazão, composição química e poder calorífico, parâmetros que determinam o real potencial de geração de energia elétrica, além de permitir dimensionar os processos de pré-tratamento do biogás, como a remoção de H_2S (ácido sulfídrico) e da umidade, com o propósito de evitar danos aos equipamentos da instalação e aumentar seu poder calorífico.

Sabe-se que a geração de energia, hoje no mundo, está resumida, em sua grande maioria, pelo consumo de fontes de energia chamadas tradicionais (petróleo, carvão mineral, gás natural). Tais fontes são altamente poluentes e não renováveis. Há controvérsias sobre o tempo da duração dos combustíveis fósseis, mas devido a energias limpas e renováveis como biomassa, energia eólica e energia maremotriz, e sanções como o Protocolo de Quioto, que cobra de países industriais um nível menor de emissões de poluentes (CO_2) na atmosfera, as energias alternativas são um novo modelo de produção de energias econômicas e saudáveis para o meio ambiente (SOARES, 2010).

3.9 BIOGÁS: UMA ALTERNATIVA A DEMANDA DE ENERGIA E DESTINAÇÃO ADEQUADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

De acordo com Furtado (2007), os dois maiores problemas acarretados pelo crescimento populacional é o consumo irresponsável de energia que demonstra futuramente o esgotamento das fontes de energia hoje conhecidas, e a produção cada vez maior de lixo que vem acarretando o entupimento dos aterros e a falta dos lugares seguros para sua futura deposição. Nesse sentido, surgem então os seguintes questionamentos:

- Como resolver esses problemas sem afetar, criar ou maximizar os problemas atualmente existentes?
- Como conseguir um método eficaz sem que seja necessário afetar drasticamente a rotina da população, outras áreas ou os recursos naturais?

Alternativa com o uso das energias renováveis vem sendo a cada dia mais exploradas na busca por um ponto ótimo de custo benefício. Nesse sentido, as cervejarias atuais buscam aplicações de métodos operacionais que utiliza o gás metano presente no biogás de suas ETEI's como fonte energética para geração de eletricidade.

A obtenção do biogás é através do processo de digestão anaeróbica que consiste de um complexo de cultura mista de microorganismos capazes de metabolizar materiais orgânicos complexos tais como carboidratos, lipídios, e proteínas produzindo metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e material celular que pode ser utilizado como biofertilizante (FORESTI, 1994).

A digestão anaeróbica, em biodigestores é o processo mais viável para conversão dos resíduos orgânicos em energia térmica ou elétrica. Essa conversão é realizada pela deteriorização sucessiva da matéria orgânica por bactérias, a princípio, as moléculas orgânicas se transformam em ácidos graxos, sais ou gás e a partir desta, mistura-se tais componentes a uma substância gasosa produzida com metano e dióxido de carbono. A ação das bactérias depende da temperatura e do pH. A temperatura aceitável para o bom desempenho das bactérias varia de 20 a 45°C e o pH entre 6,6 e 7,6 sendo o mais eficiente o pH7. Durante o processo as bactérias retiram aquilo que necessitam para sua sobrevivência, lançando gases e calor (SILVA, 2008).

Para se começar a utilizar o método de extração do biogás deve-se criar uma política de geração e aproveitamento do biogás isso possibilitaria a regularização de milhares de lixões que existem no País. Isso porque para operá-los de maneira controlada e eficiente, seria necessário investir em infra-estrutura, drenagem, segurança e mão de obra especializada. Do mesmo modo, o esgoto, que atualmente é jogado em córregos e valas, teria de ser canalizado para estações de tratamento, resultando em ganhos ambientais, sociais e de saúde pública. A boa notícia que já contamos com aterros sanitários funcionando regularmente e gerando biogás de lixo em cidades como Salvador, São Paulo, Rio de Janeiro e Goiânia (FURTADO, 2007).

Em Minas Gerais alguns projetos visando a produção do biogás e o aproveitamento dos aterros sanitários já vêm sendo estudadas e muitos já se encontram em plena execução como relata essa matéria da jornalista Ingrid Furtado (2007) do Jornal estado de Minas:

“...A Secretaria Municipal de Políticas Urbanas de Belo Horizonte (SMURBE) abriu processo de licitação para explorar e captar biogás do aterro sanitário às margens da BR-040 no Bairro Jardim Filadélfia, na região Noroeste da Capital. O objetivo é adequar e qualificar o local para a comercialização de certificados de carbono, conforme estipula o Tratado de Kyoto. A exploração do Biogás é uma das ações previstas no plano de fechamento da central de tratamento de Resíduos Sólidos da BR-040, aprovado pela Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM). A concorrência do biogás envolveu empresas nacionais e internacionais e a vencedora equipou as instalações do aterro para a aferição correta do Biogás.

3.10 PROJEÇÃO PER CAPITA DA GERAÇÃO DE BIOGÁS

No Brasil, tradicionalmente utiliza-se o consumo *per capita* de água para se projetar o sistema de esgotamento sanitário (TSUTIYA e ALEM SOBRINHO, 1999). Assim, o volume de esgotos gerado é estimado como sendo igual ao volume de água consumida. Sendo a média per capita do consumo de água no Estado do Maranhão de 144L/hab.dia (SNIS, 2011) e este com uma população de 6.850.884 habitantes (IBGE, 2012) pode se considerar um valor significativo de esgoto.

A realidade das cervejarias no Brasil, o consumo médio varia de 6 a 10 litros de água por litro de cerveja (CETESB, 2005), o que indica uma geração de 5 a

9 litros de efluente rico em carga orgânica capaz de gerar biogás e, conseqüentemente um grande potencial para produzir energia elétrica.

Segundo Brondani (2010) a geração de biogás é diretamente relacionada a DQO (Demanda Química de Oxigênio) do efluente que chega nas estações de tratamento de efluente. Brondani demonstrou que para cada 1 kg de DQO de efluente de avícola tratado tem-se uma geração de 0,35 m³ de metano.

3.11 ASPECTOS AMBIENTAIS DO BIOGÁS

As ETEI em sua totalidade são um dos maiores equipamentos de controle ambiental de quaisquer cervejarias. Esta atribuição é dada porque ETEI's possuem processos básicos para remoção da carga poluidora contida nos efluentes cervejeiros que são caracterizados como efluente de alta carga orgânica e alta toxicidade em função dos aspectos ambientais das cervejarias.

Uma ETEI com operação sob controle, com monitoramento da qualidade do efluente em todas suas etapas de operação é a certeza da diminuição dos impactos ambientais mais sofridos atualmente pela sociedade: a poluição das águas superficiais como rios, córregos, lagos e lençóis freáticos.

De acordo com Sperling, (2005) apesar dos benefícios oferecidos por uma ETEI ou ETE (Estação de Tratamento de Efluentes Doméstico), a operação nestas estações possuem aspectos ambientais adversos típicos a essa atividade, como por exemplo, a geração do gás de efeito estufa (GEE) contido no biogás que é um dos maiores resíduos gasoso gerado numa estação de tratamento de efluente. As exigências legais estabelecem como obrigação a disposição adequada desse resíduo de modo que os parâmetros da qualidade do ar sejam atendidos, Conama n°8, agosto 1990.

Atualmente entende-se como disposição adequada do biogás a queima em *flare* ou reutilização como fonte energética. Por falta de tecnologia e iniciativas de desenvolvimento de trabalhos voltados para melhoria de desempenho ambiental, a maioria das estações de tratamento faz a queima do biogás em *flare*. Sabe-se que para cada 1 kg de demanda química de oxigênio (DQO) tratado em estações de efluentes industriais gera-se 1m³ de biogás que possuem 0,44g de CO₂ emitido na atmosfera (SANQUETTA, 2004).

Apesar da queima do biogás em *flare* representar uma diminuição de impacto ambiental significativo, a geração de CO₂ lançado na atmosfera é inerente a de operação ETEI's.

O gás CH₄ presente no biogás é cerca de 21 vezes mais prejudicial ao meio ambiente do que o CO₂, sendo os principais responsáveis pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa em consequências das emissões de causa antrópica, Sanquetta (2004). Desse modo é interessante que o reaproveitamento energético do biogás, seja conciliando a geração de energia elétrica renovável, e assim contribuir-se cada vez mais com a redução dos gases de efeito estufa.

3.12 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

De acordo com Monteiro (2003) a disciplina financeira tem oferecido, ao longo de sua evolução, vários métodos para calcular o valor de um investimento, não existindo, contudo, uma fórmula exata.

Tradicionalmente, a avaliação de projetos de investimento geralmente envolve um conjunto de métodos que buscam estabelecer parâmetros de sua viabilidade. Neste contexto, as empresas usam, em geral, os métodos tradicionais de análise de projetos: período de *Payback (Pb)*, as regras do Valor Presente Líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR), (PESSOA, 2006).

O conhecimento dessas técnicas financeiras para avaliação de implantação ou não de um projeto que requer inicialmente um expressivo valor em custo, é fundamental para tomada de decisão da diretoria técnica de qualquer empresa.

A análise desses indicadores são realizadas através da Engenharia Econômica que tem como base a matemática financeira que define os métodos financeiros avaliados neste trabalho, tais como:

- ***Payback***

O *payback* é o número de anos necessários para recuperação do investimento. Consiste na determinação do tempo necessário para que o valor do investimento seja recuperado pelos benefícios incrementais líquidos de caixa (fluxo de caixa) promovidos pelo investimento. Ou seja, é o período requerido para receber o capital inicial investido (NETO 2003).

É o método mais simples e popular para análise de um investimento, pois consiste principalmente, em quantificar, através do fluxo de caixa, o período necessário para recuperar o investimento feito inicialmente, ou seja, o momento em que o lucro líquido alcançado ao longo de um determinado tempo, se torna igual ao investimento inicial (PAMPLONA, 2006).

- **Valor Presente Líquido (VPL)**

O método do VPL é considerado na literatura de finanças como um padrão superior aos métodos do período de *payback*, pois considera o valor do dinheiro no tempo (PESSOA, 2006).

Trata-se de um método de análise de investimentos onde se compara na data de início do projeto, todas as receitas e despesas esperadas e projetadas no fluxo de caixa utilizando a taxa mínima de atratividade imposta pelo investidor (PAMPLONA, 2006). Podemos equacionar o VPL da seguinte maneira:

Equação 1: Cálculo de VPL

Onde:

C_0 : montante a ser aplicado na data zero;

C_i : fluxo de caixa na data i ;

r : taxa de juros;

n : n° de período em anos.

Nesse sentido é feita a suposição de que o fluxo de caixa inicial, C_0 , é negativo, porque representa um investimento (ROSS, 1995).

Normalmente as decisões do investimento ou não no projeto são tomadas sob os seguintes valores de VPL:

VPL > 0, aceita o projeto;

VPL < 0, rejeita o projeto.

VPL = 0, indiferente em aceitar ou não o projeto de investimento.

Um investimento é considerado economicamente atrativo neste método quando o valor presente líquido for positivo, significando assim que o valor presente nas entradas de caixa é maior que o valor presente nas saídas de caixa. Quanto maior for o VPL, mais atrativo é considerado o investimento (GITMAN, 2002).

Em resumo, o VPL é valor que o balanço de um projeto teria se todos seus custos e benefícios fossem trazidos para o momento inicial, ou seja, se fosse calculado o valor presente de cada uma das parcelas que compõem o fluxo de caixa deste projeto ao longo de sua vida útil.

- **Taxa Interna de Retorno (TIR)**

Refere-se à taxa de juros onde o valor presente de todos os fluxos de entrada é igual ao valor presente de todos os fluxos de saída, ou seja, a TIR é a taxa que torna nulo o VPL de um investimento. A taxa interna de retorno deve ser comparada a taxa mínima de atratividade para verificar a rentabilidade do investimento. Para que um investimento seja considerado atrativo neste método é preciso que a TIR seja maior que a TMA (PAMPLONA, 2006).

- **Fluxo de caixa**

Segundo Madeira (2008) a base de todas as técnicas de análise de investimentos é o fluxo de caixa o qual é responsável pela representação gráfica de entradas e saídas de recursos monetários ao longo de um determinado período, ou seja, uma demonstração visual de receitas e despesas distribuídas pela linha do tempo futuro. O fluxo de caixa tem muita importância, pois proporciona aos administradores tomarem decisões importantes de investimentos com base em uma visão futura dos recursos financeiros de uma empresa.

- **Taxa Mínima de Atratividade (TMA)**

É um custo de oportunidade de capital, que varia de investidor para investidor, representado sob a forma de taxa de juros onde se pode considerar um investimento atrativo quando este, no mínimo, render o equivalente a esta taxa de juros (PAMPLONA, 2006).

- **Índice de Rentabilidade (IR) ou Eficiência (VPL/VPI)**

O índice de rentabilidade é definido como o valor presente dos fluxos de caixa futuros de um investimento divididos pelo seu custo inicial. Conhecido também como quociente benefício custo ou VPL/VPI, onde VPI representa o valor presente do investimento. Quanto maior que zero for IR, mais atrativo se torna o projeto.

4 METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa descritiva, com apresentação de um estudo de caso em consonância com literaturas já publicadas para interpretações dos resultados encontrados.

A pesquisa está classificada segundo os critérios proposto por Vergara (2004) que são: quanto aos fins e quanto aos meios.

Quanto aos fins: é uma pesquisa descritiva, por apresentar os principais métodos de avaliação financeira de projetos disponíveis no mercado.

E, quanto aos meios é uma pesquisa bibliográfica e de estudo de caso. Bibliográfica, por ter sido elaborada uma revisão de literatura relacionada ao tema da pesquisa consultando materiais como: livros, artigos, dissertações e internet. Estudo de caso, por ter sido realizada uma análise da viabilidade econômica do uso do biogás como energia elétrica. Neste trabalho foram utilizados dados de uma ETEI de uma cervejaria (Figura 7) localizada na cidade de São Luís- MA.

A ETEI tem aproximadamente 20 anos de instalação, com um sistema de tratamento misto (Anaeróbio/Aeróbio). Essa planta recebe em média 3400 m³ diários, com capacidade para tratar até 5500 m³ de efluentes.

Figura 7 - ETEI de uma cervejaria



Fonte: Pesquisa da autora

Para análise do potencial de produção de biogás foi utilizado dados de vazão de dois reatores anaeróbios, o reator 1 do tipo RAFA e reator 2 do tipo circulação interna (IC). O reator 1 tem capacidade de tratamento de aproximadamente 5680 KgDQO/dia e o reator 2 podendo tratar até 2234

KgDQO/dia, podendo gerar juntos uma produção de biogás de até aproximadamente 5.000 m³/dia.

4.1 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS GERADO

De acordo com a concentração de metano no biogás o poder calorífico pode variar entre 4,95 a 7,92 Kcal/m³, quanto maior a quantidade de metano presente na amostra maior vai ser o poder calorífico de uma amostra de biogás (Costa, 2006). Após o tratamento o biogás pode atingir um poder calorífico próximo a 10.000 kcal/m³ (Costa, 2006). Neste trabalho considerou-se o poder calorífico de 6500 kcal/m³, pois a concentração de metano nas amostras de biogás da unidade em estudo foi de 80% de CH₄ e, considerando os dados da tabela 1. Dessa forma, a energia calorífica foi encontrada através da equação 02 abaixo:

Equação 2- Conversão do biogás em energia calorífica

—

A unidade de consumo para energia elétrica, conforme o sistema internacional de unidades é o quilowatt-hora (kWh). Para conversão de kcal, encontrada na equação acima em kWh utiliza-se o 1º princípio da termodinâmica, onde 1kWh equivale a 860 kcal , segundo a equação 03 abaixo:

Equação 3- Conversão em KW

Segundo CENBIO, (2004) o rendimento de motores a gases de 40% e eficiência da planta purificadora de biogás de 80%, assim temos determinamos a energia pura do sistema conforme a equação abaixo:

Equação 04

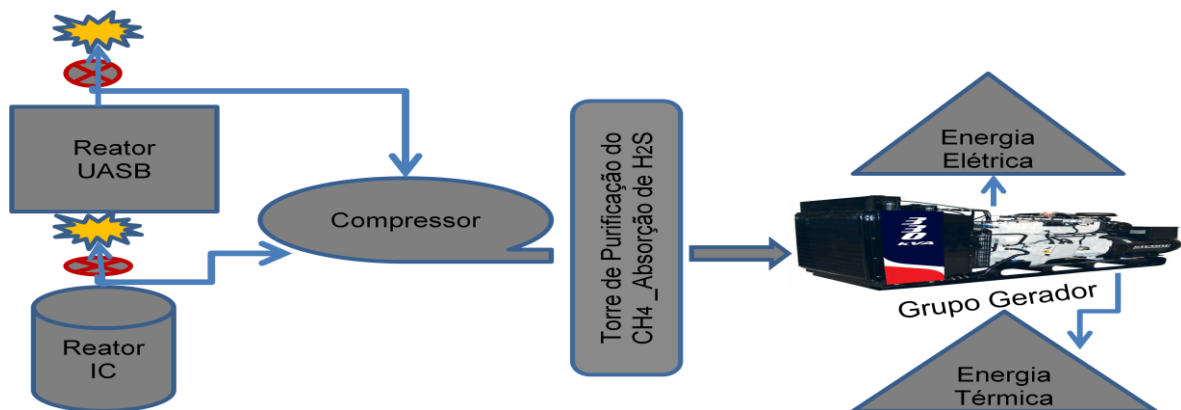
$E_p = E_e \times 0.4 \times 0.8$, onde E_p é energia pura em kWh.

4.2 PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DE GRUPO GERADOR

Para valorização dos dados financeiros e cálculo de *payback* do projeto de reaproveitamento do biogás foi solicitado orçamento técnico para empresa Exman tecnologia, onde foi apresentado todos os dados técnicos da estação de tratamento de efluentes para montagem de um sistema de reuso do biogás.

Foi proposto o uso de um gerador modelo 330 kVA Scania (Fig.8) de potência contínua de 211 kWh com um fator de potencia 0,8 e tensão de saída de 380 Vca. Para esse tipo de gerador foi sugerido também um filtro de H₂S para uma concentração de até 1500 ppm. Abaixo fluxograma do sistema de reuso do biogás:

Figura 8 - Fluxograma do sistema de conversão do Biogás em Energia Elétrica



Fonte: Exadaptado pela Autora

Na proposta sugerida, o biogás que atualmente é queimado no *flare*, passa a ser direcionado para um compressor tipo radial para aumentar a pressão deste na saída dos reatores e posteriormente ser injetado na torre de purificação para remoção das impurezas típica do sistema. A presença dessas impurezas é o que diminuir o poder calorífico do biogás, pois quanto mais H₂S, CO₂, água e outros gases apresentar a amostra de biogás, menor é a concentração de metano.

Seguida a amostra já purificada é enviada para o grupo gerador onde ocorre a conversão da energia química do biogás em energia térmica seguida a geração de energia elétrica.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A indústria em estudo tem como principal atividade a produção e engarrafamento de bebidas, como cervejas e chopes, para abastecimento dos mercados do Maranhão, Pará e Piauí. As principais matérias-primas utilizadas são malte, *grits*, sacarose, lúpulo e água. As cervejas produzidas são do tipo pilsen com teor alcoólico de aproximadamente 4% (KUNZE, 2005).

5.1 GERAÇÃO DE BIOGÁS E CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO REGIME DE OPERAÇÃO NORMAL DA CERVEJARIA

Foram considerados nove indicadores, acompanhados por um período de um ano, para avaliar o cenários da unidade no quesito capacidade real de geração de biogás em função da demanda de produção.

Para a análise de viabilidade do projeto é necessário considerar os investimentos iniciais, além da operação e manutenção do sistema. Tais critérios serão abordado posteriormente.

Tabela 5 - Levantamento dos indicadores fabris que justificam o trabalho

Indicador Fabril	Dia	Mês	Ano
1-Produção de cerveja (hl)	7.993,95	247.847,01	2.974.164,08
2-Captação de água dos poços(m ³)	4.094,13	123.318,47	1.479.821,67
3-Quantidade de geração de efluente industrial(m ³)	3.429,73	108.614,38	1.303.372,57
4-Carga Orgânica (Kg DQO)	8.708,36	277.923,53	3.335.082,40
5-Volume de biogás gerado (m ³)	5.078,71	170.789,56	2.049.474,69
6-Potencial energético (kw)	12.283,39	413.072,42	4.956.869,02
7-Ganho em custo (R\$)	3.685,02	123.921,73	1.487.060,71
8-Consumo de EE(Kwh)	88.284	2.465.652	34.430.850
9-Percentual de redução no consumo de energia(%)	13,91	16,75	14,40

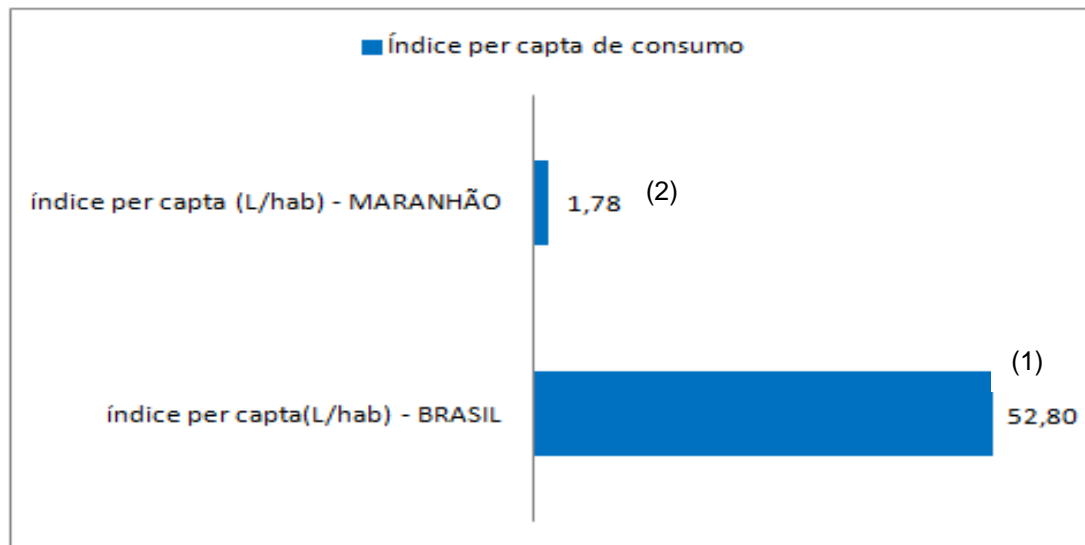
Fonte: Dados Sistema informação da empresa.

Os dados da tabela 5 demonstram quantitativamente os indicadores fabris que possuem maior relevância na produção e reaproveitamento do biogás. Cada um desses cenários está descrito abaixo.

5.2 CENÁRIO DE PRODUÇÃO FABRIL: HISTÓRICO E FUTURO

O consumo médio per capita de cerveja no Brasil no ano de 2012 foi de 52,8L/hab (Miranda, 2013). Adaptando aos dados da população Maranhense de 6.850.884 habitantes (IBGE, 2012), tem-se um índice per capita de consumo de cerveja de 1.78L/habitantes, conforme figura abaixo.

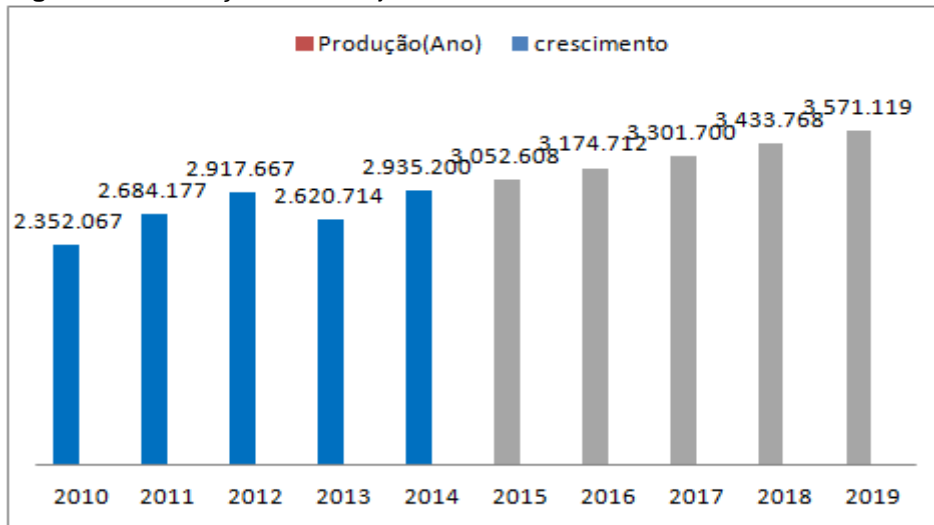
Figura 9 - Índice per capita do consumo de cerveja no Brasil e Maranhão



Fonte: Pesquisa Autora(2) adaptada a MIRANDA(1), 2013.

Esse cenário de consumo atrelado à conquista de novos mercados, como por exemplo, o Estado do Pará, vem levando a cervejaria em estudo ano após ano a elevar seus patamares de produção, o que implica no aumento do potencial energético a partir do reaproveitamento do biogás uma vez que aumentando a produção, aumentar-se o consumo de água para operações normais de produção e conseqüentemente, aumenta a geração de efluente com as quantidades típicas de carga orgânica. Esses dois últimos parâmetros (efluente e carga orgânica), na prática, representam a matéria prima da geração de biogás numa ETEI.

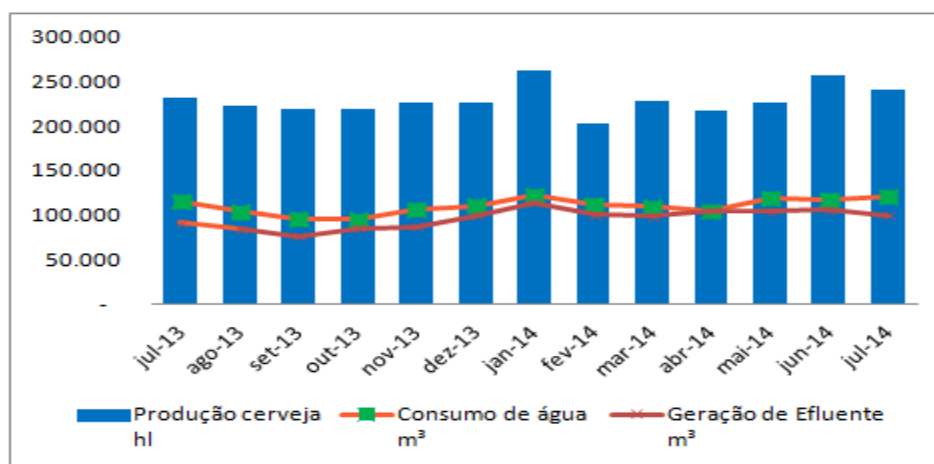
Na figura 10 abaixo pode-se verificar que a produção cresceu nos últimos cinco anos (2010 a 2014) numa média de 6% e, apresenta expectativa de vendas com tendência de crescimento em 5% para os próximos cinco anos.

Figura 10 - Produção de Cerveja Real e Tendência

Fonte: Pesquisa Autora

Esse cenário demonstra estabilidade no setor de produção de cerveja, sustentando a viabilidade do reaproveitamento energético do biogás gerado ao realizar o tratamento dos efluentes gerado da empresa em estudo.

O gráfico abaixo, ilustrado por a figura 11, representa a produção de cerveja, geração de efluente e consumo de água usada para manufatura das bateladas durante o período avaliado.

Figura 11 - Produção de cerveja x consumo de água e geração de efluente

Fonte: Pesquisa Autora.

Verifica-se que os valores no gráfico são relativamente estáveis, apresentando uma pequena variação nos meses de janeiro e junho que são

considerados os meses de maior produção impulsionada por os meses de maiores vendas, fevereiro (carnaval) e julho (férias). Essa sazonalidade é comum a todos os anos nesse mesmo período. A produção em ascensão ou estável representa um potencial de geração de energia a partir dos efluentes gerados para fabricação da demanda de mercado.

Segundo dados de 2011 do SINDICERV (Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja), a cerveja no Brasil traz à sociedade, um panorama completo e transparente do segmento que contribui com cerca de 1% do PIB do Brasil. O Brasil está entre os quatro maiores fabricantes de cerveja do mundo, com um volume anual de cerca de 10,34 bilhões de litros. Constatando a estabilidade econômica das cervejarias no Brasil, pode-se afirmar que a geração de energia elétrica a partir do biogás mostra-se oportuna, visto que a geração de efluente é proporcional ao consumo de água das cervejarias que por sua vez é diretamente relacionada a produção de cervejas.

5.3 GERAÇÃO DE EFLUENTE PARA SER TRATADO – GERANDO BIOGÁS

Em situações normais de produção, o volume de efluente gerado é diretamente relacionado ao consumo de água usado em as áreas da fábrica. Conhecendo a quantidade de produção de cerveja, de consumo de água e da geração de efluente, pode-se calcular o índice de água e de efluente.

O índice de água mede a quantidade de água consumida em litros para a produção de um litro de cerveja. Da mesma forma o índice de efluente é a quantidade de efluente gerado em litros para produção de um litro de cerveja. Atualmente as cervejarias brasileiras possuem esse índice em 7,75 L/L (Miranda, 2013). Na cervejaria em estudo o índice de água durante o período avaliado foi de 4,83 L/L o que gerou um índice de Efluente de 3,92L/L, conforme Tabela 6 abaixo.

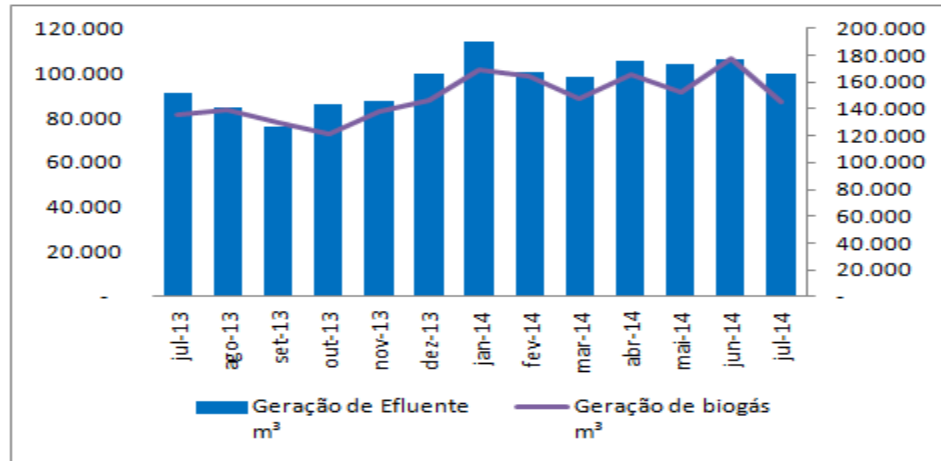
Tabela 6- Índice de consumo de água e geração de efluente

Índice de água -Cervejarias Brasil	7,65
Índice de água - Cervejaria A	4,83
Índice de Efluente	3,92

Fonte: Pesquisa Autora adaptado a MIRANDA, 2013.

Essa informação é relevante, pois para cada litro de cerveja produzido durante o período avaliado gerou-se 3,92L de efluente que posteriormente poderia ser utilizado com a matéria prima para geração do biogás por apresentar uma correlação forte com a geração de biogás.

Figura 12 - Geração de Efluente x Geração de Biogás



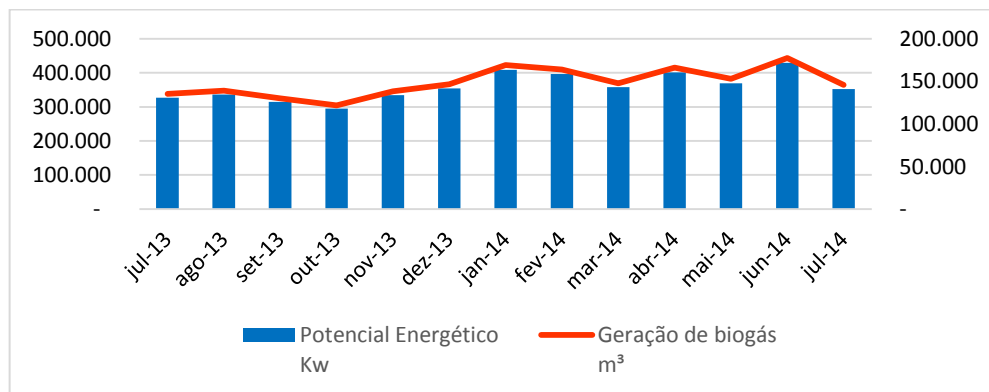
Fonte: Pesquisa Autora

A geração média de efluente é de 104.495.161m³/mês o que produz em média 161.097.000m³/mês de biogás.

5.4 CURVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA X GERAÇÃO DE BIOGÁS

A figura 13 abaixo demonstra o potencial energético presente no biogás gerado mensalmente de acordo com a produção de cerveja do período em estudo. A geração média do biogás foi de 148.705m³/mês que representa um potencial energético em torno de 359.658 kW/mês.

Figura 13 - Potencial energético x Geração de Biogás



Fonte: Pesquisa Autora

Para a geração de energia elétrica a partir de biogás, o primeiro fator econômico a ser analisado é o da utilização de um gás combustível de baixo custo, uma vez que o biogás é um subproduto de um processo de digestão anaeróbia e que normalmente é desprezado, ora emitido diretamente na atmosfera agravando o impacto ambiental por meio da emissão de gases efeito estufa, ora pela queima em “flares” para minimizar o impacto ambiental (COELHO, 2003).

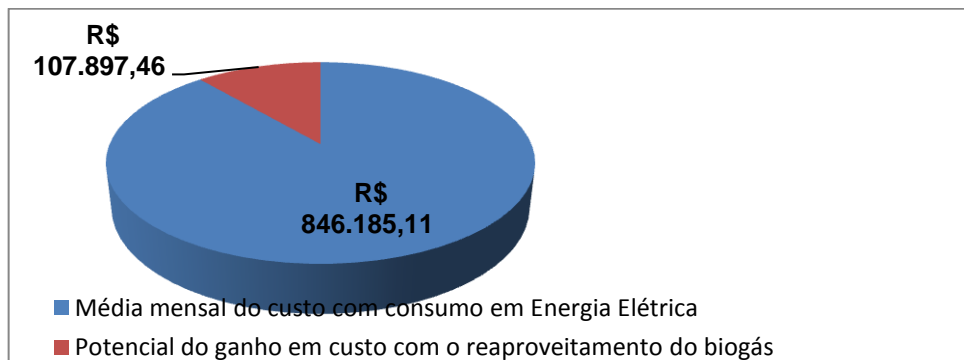
Para Coelho (2003) a potência instalada de um sistema de tratamento de efluente líquido é função do tipo de tecnologia escolhida, da carga orgânica dos esgotos a serem tratados e da vazão nominal do sistema. Outros fatores como a produção e tipo de tratamento dos lodos gerados pelo sistema são importantes. Para avaliação numérica deste parâmetro deve-se estabelecer a relação entre a potência dos equipamentos mecânicos instalados e o número de habitantes atendidos

O consumo de energia elétrica é fator de grande importância no custo operacional do sistema e também depende da potência instalada e do período de funcionamento dos equipamentos.

5.5 OPORTUNIDADE DE REDUÇÃO EM CUSTO E CONSUMO COM ENERGIA ELÉTRICA DE ACORDO COM O POTENCIAL ENERGÉTICO DO BIOGÁS

A Figura 14 representa o valor médio mensal que a fábrica gasta com a conta de energia elétrica e o potencial de ganho em custo com o reaproveitamento do biogás como energia elétrica.

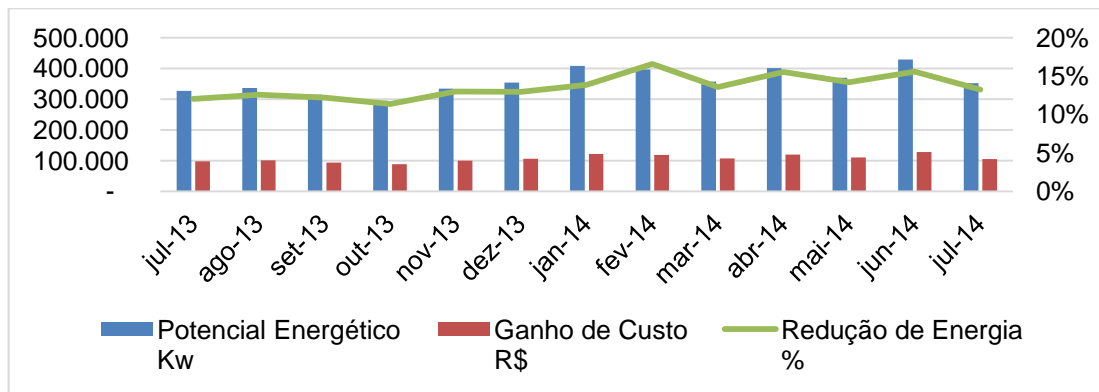
Figura 14 - Média mensal e potencial do ganho em custo com o reaproveitamento Biogás



Fonte: Elaborado pela Autora.

O valor de R\$ 107.897,46 representa uma média em torno de 14% do consumo atual de energia elétrica da fábrica.

Figura 15 - Potencial energético x redução em custo e energia total

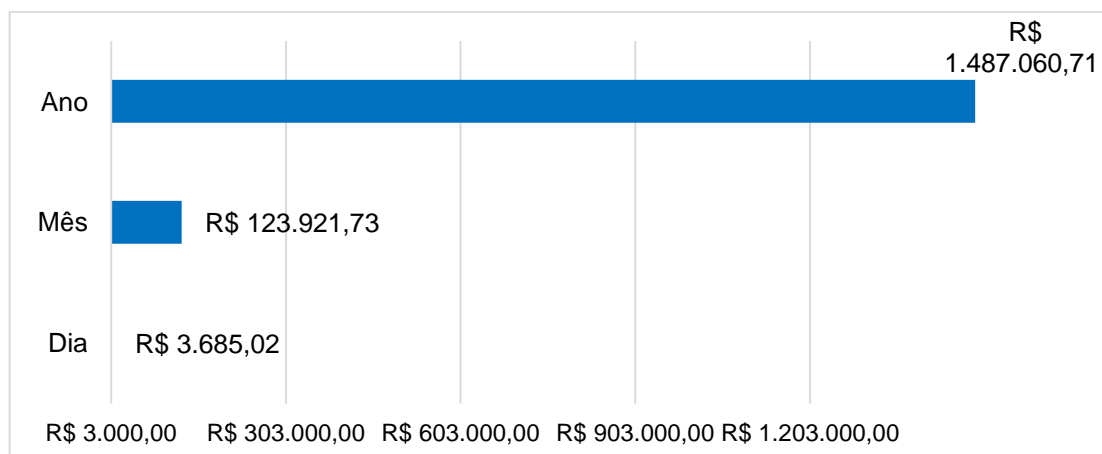


Fonte: Pesquisa Autora

Ou seja, 14% do consumo pode ser suprida pela a energia contida no biogás que atualmente é desperdiçada.

Essa redução equivale a uma economia diária, mensal e anual relevante, conforme demonstrado na tabela 1 e na Figura 16 a seguir.

Figura 16 - Oportunidade em Custo com o reaproveitamento do biogás

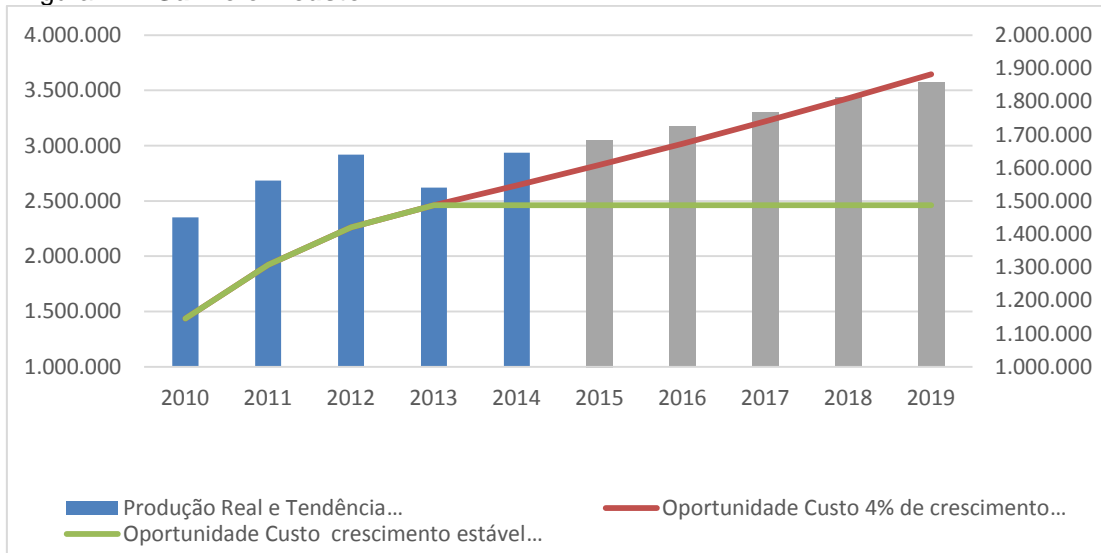


Fonte: Pesquisa Autora

Avaliando a produção de cerveja dos últimos cinco anos e a perspectiva de crescimento para os próximos cinco anos, temos duas situações, onde ambas demonstram oportunidade de ganho em custo com o reaproveitamento do biogás como energia elétrica. Considerando que o cenário de produção se mantenha

estável, a oportunidade de ganho médio em custo é de 1,48 milhões por ano e, 1.85 milhões por ano se o crescimento da produção chegar à linha de tendência esperada pela a empresa.

Figura 17 - Ganho em custo



Fonte: Pesquisa Autora

O valor apresentado como ganho neste momento ainda não considera os custos com implantação e manutenção do sistema de reaproveitamento.

O consumo de energia por equipamento da área de ETEI também foi estudando, onde se pôde contabilizar o consumo total de energia em 438,5 CV conforme Tabela 7.

Tabela 7- Consumo de energia elétrica e potência instalada na ETEI

Equipamento	Potência CV
Motor Bomba Elevatória 1	25
Motor Bomba Elevatória 2	30
Motor Bombas Aeradores Carrossel	150
Motor Centrifuga	20
Motor agitador do Tanque Equalização	15
Motor Bomba alimentação Reator 1	20
Motor Bomba alimentação Reator 2	20
Motor Bomba Reciclo	10
Motor Bomba trasfega RA p/ TA	40
Motor bomba adensador	2,5
Motor bomba parafuso	4
Motor bomba removedor de lodo	2
Total de potência instalada	438,5

Fonte: Pesquisa Autora

Saber a potência instalada na área se tornou relevante no decorrer das análises de resultado do potencial energético do biogás, pois uma das intenções deste trabalho foi propor a autossustentabilidade na ETEI no quesito energia, uma vez que a área é altamente afetada nas ocorrências imprevisíveis de falta de energia elétrica. Conhecendo os consumos de energia elétrica da fábrica e a potência instalada por setor, conforme Tabela 8, pode-se constatar que a geração de energia elétrica a partir do biogás é suficiente para abastecer a área de ETEI. Pois se a área de ETEI tem um consumo equivalente a 10% do consumo total de energia da fábrica e a o potencial energético contido na produção atual de biogás representa 14% da energia utilizada na fábrica, a implantação do projeto pode tornar a estação de tratamento de efluente autossustentável com relação à energia.

Tabela 8 - Consumo de energia elétrica e potência instalada na fábrica

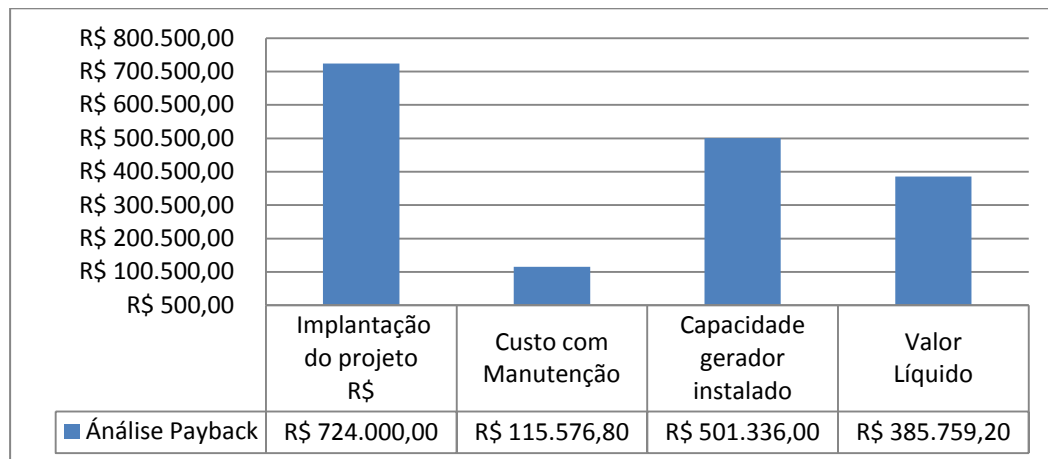
Área	%consumo (Kw/h)	Transformador (Kva)
Fábrica	100%	5,65
Utilidades	50%	3,65
<i>Packaging</i>	30%	1
ETEI	10%	0,5
ETA	10%	0,5

Fonte: Pesquisa Autora

5.6 AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DA VIABILIDADE ECONOMICA DO PROJETO: PAYBACK, VPL, TIR E ÍNDICE DE EFICIÊNCIA

Analisando os custos com a implantação, que são referentes à aquisição dos equipamentos para conversão energética da energia química do metano em energia elétrica, a manutenção mensal terceirizada e a capacidade produtiva anual da planta orçada (anexo 01), pode-se verificar através da equação 4 um *payback* de 1,88 anos.

Equação 4: Cálculo de *payback*:

Figura 18 - Análise financeira do investimento

Fonte: Pesquisa Autora

O *payback* de 1,88 anos enfatiza a viabilidade econômica do reaproveitamento do biogás como energia elétrica para empresa em estudo, uma vez que a empresa tem como parâmetros deliberativos para aprovação de projetos de investimentos entre 2,5 a 2,8 anos.

Sabendo que orçamento anual com manutenção na unidade é de 4.4 milhões e que o de projeto reaproveitamento do biogás apresenta potencialidade para gerar R\$ 501.336,00 por ano em receita líquida, pode-se verificar um impacto positivo de 11% no pacote de custo fixo na fábrica.

As análises finais dos indicadores financeiros de viabilidade econômica do projeto estão representados na tabela 9 abaixo, considerando todos os impostos atribuídos ao investimento por um período de 20 anos.

Tabela 9- Indicadores econômicos de Viabilidade Financeira

Indicador	Avaliação
VPL (R\$)	818.608
TIR (%)	37
Índice de Eficiência (VPL / VPI)	1,3

Forte: Pesquisa da autora

O VPL maior que zero significa que a empresa obterá um retorno maior que seu custo de capital empregado inicialmente. Ou seja, para os R\$ 724.000,00 empregados com a aquisição dos equipamentos e instalações do projeto, além de ser recuperado após o período de 1,88 anos, esse valor entrará na receita líquida da empresa com correções monetárias acrescido de sua receita com R\$ 818.608,76 já descontando o valor de investimento. Ou seja, para esse projeto o VPL indica viabilidade econômica.

Para Minardi (2004, p.17):

O VPL não deve ser considerado totalmente obsoleto e inútil. Ele pode ser empregado sem problemas em projetos em que a incerteza é pequena e existem poucas flexibilidades gerenciais, como, por exemplo, projetos de redução de custos, nos quais a estratégia empresarial consiste unicamente em ser um produtor a baixo custo.

A TIR de um projeto é a taxa de juros para a qual o valor presente das receitas torna-se igual aos desembolsos. O TIR para empresa em estudo é de 15% e para o projeto em análise representa 37%, Ou seja, um ganho a mais de 13% sobre a taxa mínima de atratividade exigida por a diretoria empresarial. Dessa forma, o indicador financeiro também demonstra viabilidade econômica para implantação do projeto.

Segundo Ross, *et al* (1995) com base na regra TIR, um projeto é aceitável se a TIR é maior do que o retorno exigido. Caso contrário, deve ser rejeitado.

Já de acordo com Motta e Calôba (2002) a TIR, isoladamente, não é uma medida de atratividade do investimento, portanto, não pode ser utilizada diretamente como critério de seleção entre oportunidades de investimento, a não ser que todas elas tenham investimentos.

Por fim, o índice de eficiência de 1,3 representa que para cada R\$ 1,0 gasto, tem-se R\$ 1,3 de ganho. Considerando que sobre a óptica da viabilidade econômica um índice maior que zero já se torna viável, para esse indicador também o projeto apresentou dados financeiro implantação favorável.

Segundo Pessoa (2006), o índice de eficiência é conceituado como o valor presente dos fluxos de caixa futuros de um investimento divididos pelo seu custo inicial e quanto maior ou igual a 1, for esse índice, mais atraente se torna o projeto.

6 CONCLUSÃO

O estudo de caso permitiu demonstrar através de indicadores econômicos que existe viabilidade financeira para o reaproveitamento do biogás gerado na ETEI da cervejaria em estudo como energia elétrica.

A escala de produção da unidade requer grandes consumos de recursos hídricos, gerando assim, uma vazão de efluente com uma geração de biogás o suficiente para produzir 14% da energia elétrica que hoje é consumida na unidade. Esse percentual é significativo para tornar autossuficiente a própria estação de tratamento de efluente no quesito energia elétrica.

A conversão do potencial energético do biogás em custo variável representa 11% da verba anual com manutenção que a unidade local gasta.

O custo com implantação se pagar após um ano e oito meses de operação do processo, enquanto o custo com a manutenção representa 23% do valor líquido da capacidade do gerador em operação.

As análises dos indicadores econômicos financeiros como *payback*, VPL TIR e índice de eficiência se mostraram completamente favorável ao custo/benefício para implantação do projeto.

A implantação da produção de energia a partir do biogás pode ser considerada como uma oportunidade para auxiliar na amenização dos problemas da insuficiência energética que a indústria sofre e, ainda ajuda a diminuir a dependência em uso das fontes não renováveis de energia as quais estão com suas jazidas com tempo de vida para exploração limitada.

Assim, o uso do potencial energético contido no biogás além de apresentar uma receita econômica aos caixas da empresa que atualmente é desperdiçado, contribui com o impacto ambiental negativo ocasionado por emissões atmosféricas.

Para tanto, é necessário que cada um faça sua parte: O Governo com a criação de políticas que incentive as indústrias a reaproveitar a energia proveniente nos seus resíduos e subprodutos, e o setor privado invista nos benefícios oriundos da prática de reaproveitar em 99,9% de todos seus resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Desta forma, a mitigação dos impactos ambientais será atingida pela óptica financeira que, na maioria das vezes, é o auge da humanidade.

Este estudo servirá como fonte de pesquisa aos profissionais da área de energia e ambiente da empresa como ferramenta de avaliação para futuras aplicações das técnicas de reaproveitamento de biogás. Na perspectiva acadêmica, a pesquisa servirá como fonte para análises de dados reais da capacidade de geração de energia elétrica em uma cervejaria, a partir da estimativa de produção fabril.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. W. S. (2000). Diagnostico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos. São Paulo. Dissertação de Mestrado. PIPGE / USP.

AMBEV. Institucional. Conheça a Companhia. Disponível em: <http://www.ambev.com.br/pt-br/a-ambev/institucional/a-ambev.html> Acesso: 20/08/2014.

ANDRADE NETO, C.O. (2003). **Pesquisa referente a experiência brasileira relativa a sistemas de baixo custo para tratamento de águas residuárias.** Relatório Final – Volume 1, 228 pp.

AVELLAR, L. H. N. (2001). **A valorização dos subprodutos agroindustriais visando a cogeração e a redução da poluição ambiental.** Guaratingueta. *Tese de Doutorado.* UNESP.

BARIN, A.; CANHA, L. N.; ABAIDE, A. R.; MARTINS, L. F. G. **Análise crítica dos atuais incentivos ao uso de fontes renováveis de energia no cenário energético nacional – O caso do biogás.** Universidade Federal de Santa Maria: Santa Maria – RS, 2009.

BRONDANI, J. C.. **Biodigestores e biogás: balanço energético, possibilidade de utilização e mitigação do efeito estufa,** 2010. 118 f. Dissertação (Mestrado Engenharia de produção). Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2010.

CLASSEN, P. A. M., VAN LIER, J. B., CONTRERAS, A. M. L., VAN NIEL, L. (1999). Utilization of biomass for supply of energy carrier. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 52, p. 740 – 755.

CENBIO. **“Relatórios de Atividades – Projeto ENER-G-BIOG”**, São Paulo, 2002 - 2004.

COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; SILVA, O. C.; VARKULYA, A. Jr.; PECORA, V.. Relatório de Acompanhamento - “Biodigestor Modelo UASB”. São Paulo. CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa, 2003.

COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; SILVA, O. C.; PECORA, V.; ABREU, F. C. de. Relatório de Acompanhamento - “Relatório Final de Atividades do Projeto Programa de Uso Racional de Energia e Fontes Alternativas (PUREFA)”. São Paulo. CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa, 2003.

COSTA, D. F. (2006). **Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto.** São Paulo, 194 p.. Dissertação de Mestrado. Programa de Interunidades de Pós-graduação em Energia – IEE/EPUSP/FEA/IF da Universidade de São Paulo.

CHERNICHARO, C. A. L. (1997). **Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias Volume 5: Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 246 pp.

FURTADO, Ingrid. **Biogás será explorado às margens da BR-040**, Jornal Estado de Minas, Minas Gerais, Caderno Economia, 12 de Set de 2007.

FLOREST. Consultoria ambiental, **Relatório Anual AMBEV** (2014).

FORESTI, E. (1994). Fundamentos do Processo de Digestão Anaerobia. *In: Anais III Taller y Seminario Latino Americano: tratamiento anaeróbico de aguas residuales*. Montevideo, Uruguay, pp. 97 – 110.

GOLDEBELLA, A. e SOUZA, S. N. M. (2006). **Viabilidade da Cogeração de Energia Elétrica com Biogás da Bovino Cultura de Leite**. Paraná, 9p.. Artigo publicado no AGRENER 06, Programa de Mestrado do Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de administração financeira**. 7. ed. São Paulo: Harbra, 2002.

GOLDEMBERG, J. (2006). Introdução. Em: **Biogás: Projetos e Pesquisas no Brasil**.

CETESB / Secretaria do Meio Ambiente; Organização: Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer; Responsável Técnico: João Wagner Silva Alves; São Paulo, 2005 - 184 p.

FORESTI, E. (1994). Fundamentos do Processo de Digestão Anaerobia. *In: Anais III Taller y Seminario Latino Americano: tratamiento anaeróbico de aguas residuales*. Montevideo, Uruguay, pp. 97 – 110.

GODOY JÚNIOR, E. **Sistema de armazenamento e aproveitamento energético de GNP (Gás Natural a Baixa Pressão) e de biogás de esgoto**. In: SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - SILUBESA, 12, 2006, Taubaté. **Anais...** São Paulo: [s.n], 2006. 11 p

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Populacional 2010. (29 de novembro de 2012). Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Anexo:Lista_de_munic%C3%ADpios_do_Maranh%C3%A3o_por_popula%C3%A7%C3%A3o – Acesso em 23 de agosto, 2014.

INDÚSTRIA Cervecera Argentina. Obtenção de cerveja superconcentrada com a utilização de xarope de milho como adjunto do malte. Disponível em: fing.uncu.edu.ar/catedral/industrial/industrias/2005. Acesso em: 25 de jan., 2014.

KUNZE, Wolfgang. *Technologie Brauer und Maelzer*. Editora VLB. Berlin. Alemanha. 2005.

LA FARGE, B. **Le biogaz**. Procédés de fermentation méthanique. Paris: Masson, 1979.

LOBATO, Livia Cristina Silva. **Higienização e desintegração térmica de lodo anaeróbio excedente a partir da queima do biogás produzido em reatores UASB**. Tese (Doutorado). Belo Horizonte: UFMG, 2010

MADEIRA A.P.A. **Biogás: um projeto de saneamento urbano**. São Paulo: Nobel, 2008.

MINARDI, Andrea M. A. F. **Teoria de opções aplicada a projetos de investimento**. São Paulo: Atlas, 2004.

MIRANDA, C. S. de. **Avaliação de estratégias para a sustentabilidade da suinocultura em Santa Catarina**. Florianópolis, 2013. 264 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina.

METCALF & EDDY (2003). **Wastewater engineering – Treatment, disposal and reuse**. 3rd Edition. Ed. McGraw-Hill, Inc.

MOTA, Regis da Rocha, CALÔBA, Guilherme Marques. **Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais**. São Paulo: Atlas, 2002.

MONTEIRO, Regina. C. **Contribuições da abordagem de avaliação de opções reais em ambientes econômicos de grande volatilidade: uma ênfase no cenário latino americano**. 2003. 200f. Dissertação (Mestrado em Controladoria e Contabilidade / Universidade de São Paulo - USP), São Paulo, 2003.

NOGUEIRA, L.A.H. **Biodigestão, a alternativa energética**. Editora Nobel, p.1-93. São Paulo, 1986.

PAMPLONA, V. **Implementação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP: Estudo de caso**. 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Inter-unidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PARCHEN, C. A. P. – **Algumas informações sobre manejo de esterco de bovinos e suínos**, 2001.

PESSOA, Gerisval Alves. **Avaliação de projetos de mineração utilizando a teoria das opções reais em tempo discreto: um estudo de caso em mineração de ferro**. Rio de Janeiro: FGV/EBAPE, 2006.

Resolução CONAMA Nº 436/2011 - "Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007." - Data da legislação: 22/12/2011 - Publicação de 26/12/2011, pág. 304-311.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JAFFE, J.F. **Administração financeira: corporate finance**. São Paulo: Atlas, 1995.

SANTOS, Paulo et al. **Guia técnico de biogás**. Portugal: Centro para a Conservação de energia 2007.

SANQUETTA, M. E., “**Fatores que Influenciam a Digestão Anaeróbia**”, Trabalho apresentado no V Simpósio Nacional de Fermentação, Viçosa, 2004.

SILVA, N. F. **Fontes de energia renováveis complementares na expansão do setor elétrico brasileiro: o caso da energia eólica**. 2008. 263f. Tese (Doutorado) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SOARES, R. C.; DA SILVA, S. R. C. M. **Evolução Histórica do Uso de Biogás como Combustível**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – IFT: Cuiabá, 2010.

SINDICERV – **Sindicato Nacional da Indústria de Cerveja**. (2011).

SNIS. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2011**. – Brasília: MCIDADES.SNSA, 2013.

TSUTIYA, M.T. & SOBRINHO, P.A. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. 1. ed., USP, São Paulo, 1999.

VON SPERLING, M., ANDREOLLI, C. V. & FERNANDES, F. (2005). **Lodo de esgoto: Tratamento e disposição final**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná. Belo Horizonte, 484 p.

ZACHOW, C. R. **Fontes Alternativas de Energia - Biogás**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul: Panambi, 2003

YOKOMIZO, L. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos e recuperação de Biogás no Brasil**. Departamento de Ambiente Urbano, MMA, 2008.

VERGARA, Sylvia C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

ANEXOS

ANEXO 01 – Avaliação do projeto de implantação (payback)

INFORMAÇÕES TÉCNICAS COMPLEMENTARES – EMPRESA EXMAN									
Modelos	kW 100% potência contínua 24 hrs	Fator de potência	Tensão de saída (V) / 60Hz	Consumo Nm ³ /h CH ₄ - metano		Custo manutenção. Média por hora em 5 anos	Vazão (Litros/seg) Gás Escape	Temp. gases do escape	Temp. água refrigeração
				55 %	80 %				
330 kVA Scania	211 kW/h	0,8	380Vca	108	78	R\$ 9,29	842.000	688...°C	83...°C
<ul style="list-style-type: none"> No custo de manutenção está contemplado o custo de "OVER ALL" do motor dentro de 5 anos (estimado com 25.000 horas / 8000 horas ano), com os grupos geradores funcionando 24 horas por dia a plena carga, parando apenas para as manutenções preventivas. 									
INVESTIMENTOS R\$									
GRUPO GERADOR		Trocador de Calor		Sistema de Filtro – H ₂ S / Catalisador e Compressor Radial					
330 kVA – AUT	R\$ 373.000,00	R\$ 27.000,00	Master 200	R\$ 24.000,00					
IMPORTANTE:									
<ul style="list-style-type: none"> Filtros de H₂S: estes valores são para concentrações até 1500 PPM. Trocador de calor não é fabricado pela ER-BR; Preços com impostos (CIMS 12% / IPI 0%); AUT = Painel de acionamento Automático; Mesmo com potências diferentes, os grupos geradores poderão ser configurados para funcionamento em paralelo, devendo sofrer um acréscimo nos custos em função da tecnologia a ser utilizada. 									
Autonomia em Horas de geração com 80% CH ₄				Potência Gerada					
POTENCIAS	Cosumo Nm ³ /h	150 Nm ³ /h (a)	250 Nm ³ /h (b)	kW/h (a)	kW/h (b)				
330 kVA / 211 kW/h	78	1,9 x 24 hrs	3,2 x 24 hrs	400	675				
Investimento Total: Grupo Gerador: R\$ 373.000,00 + Trocador de calor: R\$ 27.000,00 + Sistema de filtro, catalisador e compressor Radial: R\$ 24.000,00 + Custo de instalação incluído material R\$ 300.000,00 = Valor Total: R\$ 724.000,00 (Setecentos e vinte e quatro mil Reais)									

