

Avaliação Energético-Econômica da Utilização da Vinhaça Via Biogás ou Evaporação Seguida de Incineração

Rafael Ramos Gonçalves Passos
rafael.ramos.passos@gmail.com

Resumo. Este trabalho de conclusão de curso apresenta propostas de reaproveitamento energético da vinhaça, um resíduo da indústria sucro-alcooleira. O estudo é feito a partir da caracterização de indústrias de açúcar e álcool, da vinhaça gerada no processo de destilação alcoólica, dos métodos de digestão anaeróbia da vinhaça e da vinhaça concentrada. O biogás obtido na digestão anaeróbia é sujeito à análise de viabilidade energético-econômica em três sistemas de geração de energia elétrica: motor de combustão interna, turbinas a gás e ciclo Rankine. A vinhaça concentrada é analisada segundo um ciclo Rankine.

Palavras chave: vinhaça, biodigestão, biogás, energia, análise econômica.

1. Introdução

A necessidade de formas eficientes e ecologicamente corretas de geração de energia desperta a atenção do mundo. Nesse ínterim, vemos a importância de propor melhorias às nossas grandes indústrias. Uma destas é a sucroalcooleira, com destaque para a crescente evolução do mercado de etanol após a criação de programas como o Proálcool e o desenvolvimento dos carros bicompostíveis.

Nesta indústria, novas tecnologias têm sido estudadas em busca da auto-suficiência energética, ou mesmo, da venda de excedente de energia elétrica. Tais tecnologias são baseadas na melhor utilização da matéria-prima e dos resíduos.

Na indústria sucro-alcooleira a vinhaça, gerada durante o processo de destilação alcoólica, é um dos resíduos mais importantes. Atualmente é utilizada como fertilizante, porém apresenta inconvenientes de transporte, estocagem e deve ser aplicada controladamente para não se tornar poluente para o solo em questão.

Uma alternativa para este resíduo é sua utilização como insumo energético, transformando-o em biogás ou a partir de sua queima direta após sua concentração. O presente estudo propõe-se a analisar tais alternativas.

Num primeiro momento estudam-se as características das usinas de açúcar e álcool, seu modo de produção, e da vinhaça. Em seguida, analisa-se o processo de biodigestão anaeróbia, que produz um biogás. Então, analisam-se quatro diferentes sistemas de conversão de energia, três baseados na combustão do biogás e um, na queima da vinhaça desidratada. Finalmente é feita uma análise de viabilidade econômico-financeira.

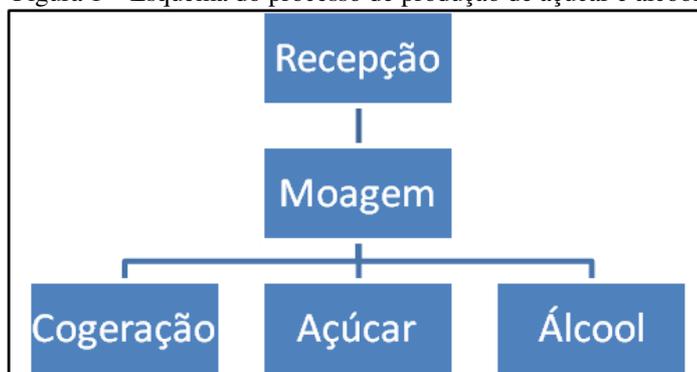
1.1. Caracterização do Setor Sucro-Alcooleiro

O setor industrial denominado “sucro-alcooleiro” engloba as unidades que produzem açúcar e álcool (destilarias anexas e usinas) e as que produzem apenas álcool (destilarias autônomas) a partir da cana-de-açúcar. Desde a criação do Proálcool, em 1975, a produção de álcool tem mostrado resultados expressivos. No período de 1975 a 1985 aumentou de 555 600 m³ para 11 818 000 m³ sua produção (CAMARGO, 1990). Na safra de 2006/2007 a produção de álcool foi de 17.050.000 m³ (Portal Exame).

1.2. Processo de Fabricação de Açúcar e Álcool

Segundo Pellegrini (2003), os principais processos envolvidos numa usina de açúcar e álcool seguem o esquema da Fig. (1).

Figura 1 – Esquema do processo de produção de açúcar e álcool



Recepção da cana: processo de lavagem.

Moagem: produção do caldo e bagaço.

Processamento do Açúcar: o processo de evaporação do caldo gera vapor vegetal, usado na fermentação do álcool, e caldo concentrado. Este concentrado é cozido e gera mel e caldo para a produção de álcool e uma massa que secado fornece o açúcar.

Processamento do Álcool: caldo e mel são submetidos ao processo de fermentação alcoólica (conversão dos açúcares em etanol) gerando o vinho. Em seguida, o vinho é destilado a fim de purificar e concentrar o álcool. Os diversos produtos da destilação são o álcool hidratado 96°GL ou anidro, óleo fusel, flegmaça e a vinhaça (CAMARGO, 1990).

Cogeração: as caldeiras queimam o bagaço gerando vapor superaquecido. Este aciona dispositivos mecânicos e gera energia elétrica. O água, condensada durante a evaporação do caldo, retorna à caldeira (ciclo Rankine).

1.3 Vinhaça: origem e destino

A vinhaça é uma suspensão aquosa de sólidos orgânicos e minerais, contendo os componentes do vinho não arrastados na destilação, além de quantidades residuais de açúcar, álcool e compostos voláteis mais pesados (CAMARGO, 1990). Sua composição quantitativa é função da matéria-prima. Em média, seu teor de sólidos é de 7% e destes, 75% são orgânicos e biodegradáveis com alta demanda química e bioquímica de oxigênio (DQO e DBO), daí seu caráter poluente. Há alguns anos, o destino da vinhaça eram os cursos d'água.

Entretanto, atualmente este método poluidor está em desuso graças ao surgimento das seguintes alternativas:

Fertirrigação: emprego "in natura" na lavoura dissolvido em água. É necessário determinar as concentrações ótimas em função do tipo de vinhaça e do tipo de solo, evitando assim os impactos negativos. Se lançada em grande quantidade ou diretamente às plantações, pode contaminar lençóis subterrâneos de água. Além deste, podem ocorrer também a salinização e a acidificação do solo, comprometendo a qualidade de plantio, até mesmo para produção de cana-de-açúcar

Concentração da Vinhaça: concentrada a 60% de sólidos totais pode ser utilizada como fertilizante ou ração animal. Se incinerada, obtém-se geração de vapor e cinzas de potássio. A incineração pode ser feita em combustores (de 50 a 60% de sólidos totais) ou em leito fluidizado (30% de sólidos totais). Os entraves à concentração são devidos a incrustação, a corrosão, a alta viscosidade, ao baixo pH e a alta DBO da água condensada.

Digestão Anaeróbia da Vinhaça: produção de metano e gás carbônico associada ao tratamento do efluente. Entre os biodigestores de elevada eficiência, o biodigestor de fluxo ascendente com leito de iodo (UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor) obtém destaque. Trabalhos pioneiros em 1981 do IPT demonstram a viabilidade do processo.

Atualmente, a produção brasileira de etanol, a partir da cana de açúcar, é de cerca de 16 milhões de m³ por ano, o que corresponderia a uma produção anual de cerca de 30 bilhões de m³ de biogás (60% de metano) (GRANATO; SILVA, 2000).

Fermentação Aeróbia da Vinhaça: visa à produção de proteína unicelular a ser empregada como complemento de ração animal.

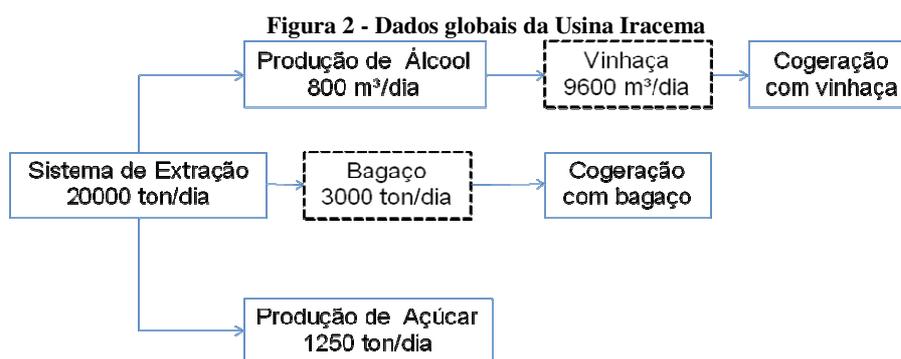
1.4 Caracterização da Usina Iracema

A usina, localizada em Iracemápolis, faz parte da Companhia Industrial e Agrícola Ometto e é filiada à COPERSUCAR. A Tab. (1) permite a caracterização da usina.

Tabela 1 - Caracterização da Usina Iracema

Capacidade de moagem	20.000 ton/dia
Produção de Açúcar	1.250 ton/dia
Produção de Álcool	800.000 litros/dia
Quantidade de Vapor	550 kg de vapor/ ton de cana
Consumo de Energia	13,3 MW (auto-sustentada)

Na Fig. (2) visualizam-se os parâmetros gerais da usina Iracema. Nesta há as duas fontes de energia disponíveis: o bagaço e a vinhaça; sendo que a vinhaça ainda não é utilizada para tal fim.



2. Objetivos

O presente trabalho destina-se a avaliar quatro opções de reaproveitamento energético para a vinhaça: uso do biogás num motor de combustão interna, uso do biogás numa turbina a gás, uso do biogás num ciclo Rankine e concentração da vinhaça para queima no gerador de vapor de um ciclo Rankine.

Esta avaliação deve fornecer parâmetros para a determinação da viabilidade econômico-financeira das opções.

3. Metodologia

A realização do trabalho pode ser vista em quatro grandes etapas:

- 1- Levantamento das características da vinhaça, do biogás e da vinhaça concentrada: Esta etapa fornecerá as características da vinhaça para a determinação das condições de funcionamento do biodigestor. Em seguida, será possível conhecer a composição do biogás. Paralelamente, conhecida a vinhaça, caracterizaremos os produtos obtidos no processo de concentração da vinhaça.
- 2- Modelagem de cada uma das quatro alternativas: Nesta etapa descreveremos modelos para cada alternativa. Os modelos serão baseados em equipamentos comerciais permitindo a análise quantitativa real.
- 3- Análise quantitativa dos modelos: Esta análise visa a informar as capacidades de geração elétrica de cada modelo assim como a determinação das respectivas eficiências.
- 4- Avaliação econômica: Essa avaliação permite a determinação da relação custo-benefício e auxilia a escolha da alternativa mais viável.

4. Discussão

4.1 Produção do Biogás a partir da Vinhaça

4.1.1 Digestão Anaeróbia

A biodigestão anaeróbia tem como objetivo reduzir o potencial poluidor da vinhaça e ao mesmo tempo produzir um gás e um fertilizante como resíduo. A biodigestão anaeróbia consiste na fermentação com ausência de oxigênio de resíduos orgânicos através de bactérias anaeróbias que sintetizam a matéria orgânica transformando-a em metano e dióxido de carbono, principais componentes do biogás. A realização e a eficiência da biodigestão dependem de condições específicas de operação, como temperatura e pH do meio, tipo de substrato usado no processo, concentração de sólidos e período de retenção da biomassa no biodigestor, dentre outros (SALOMON; LORA; MONROY; 2007). Na Tabela 2 tem-se um exemplo real da caracterização da vinhaça antes e depois da biodigestão na Usina São Martinho. Procknor (2008) cita que nesta usina processa-se 10% de produção de vinhaça.

Tabela 2 - Características físico-químicas da vinhaça – Usina São Martinho

Parâmetro	Vinhaça (antes da biodigestão)	Vinhaça (depois da biodigestão)
pH	4,0	6,9
DQO (mg/l)	29.000	9.000
Sulfato (mg/l)	450	32
Potássio (mg/l)	1.400	1.400

Em termos gerais, podem ser citados os seguintes benefícios físicos da biodigestão anaeróbia: produção de gás combustível, controle de poluição das águas, controle dos odores, preservação do valor fertilizante do resíduo e remoção ou eliminação dos agentes patogênicos da matéria orgânica (NOGUEIRA, 1986).

4.1.2 Produção de Biogás

O biogás é uma mistura de gases, tendo principalmente metano em sua composição. Nogueira (1986) cita que o valor frequentemente usado para o poder calorífico do biogás não tratado é 5500 kcal/m³. Entretanto, se o gás é desumidificado e se o dióxido de carbono é removido, por borbulhamento em solução alcalina, seu valor aproxima-se do correspondente ao metano puro, 9000 kcal/m³.

Souza; Fuzaro; Polegato, 1991 apud Telh, 2001 propõem a composição do biogás sendo 60% de metano, 39% dióxido de carbono e menos de 1% de outros elementos.

A produção de biogás a partir da vinhaça é calculada a partir de um fator de conversão associado a DQO removida da vinhaça (SALOMON;LORA;MONROY; 2007).

4.1.3 Tipos de Reatores

Segundo Procknor (2008), os maiores problemas dos reatores dizem respeito a dificuldade de homogeneização do meio (temperatura e pH, principalmente) para que as bactérias encontrem um ambiente ideal para operarem.

Os reatores são divididos em duas grandes classes: bateladas e contínuos. O primeiro opera com decomposição total de uma carga inserida enquanto o segundo, com inserções e retiradas contínuas de material do reator. Nas indústrias é mais interessante utilizar reatores de fluxo contínuos (caracterizados pela taxa de aplicação – TA – do efluente, em unidade de kgDQO/m³/dia), dado o ritmo de produção de vinhaça.

1- Reator anaeróbico de fluxo ascendente em leito de lodos

Nestes reatores utilizam-se bactérias termofílicas operando na temperatura de 56°C e sua TA na faixa de 8 a 10 kgDQO/m³/dia (PROCKNOR,2008).

O reator UASB consiste basicamente de um tanque, constituído de um compartimento digestor localizado na base, contendo o leito de lodo biológico e no topo está localizado um decantador precedido por um sistema de separação de gás. O afluente a ser tratado distribui-se uniformemente na base do reator, passando pela camada de lodo, através da qual a matéria orgânica é transformada em biogás. O gás produzido é impedido pelos defletores de dirigir-se ao sedimentador, entrando apenas em algumas regiões do reator. A porção de lodo que atinge o decantador é separada, retornando à base do reator e o afluente é uniformemente retirado da superfície do mesmo (SALOMON;LORA;MONROY; 2007).

2- Reatores tipo IC – Internal Circulation

Utilizam bactérias mesofílicas, operando com temperaturas de 36°C e sua TA está na faixa de 25 a 30 kgDQO/m³/dia. Nestes reatores, o próprio gás circula no interior para homogeneizar o meio. Tais reatores são utilizados tipicamente em cervejarias para fins de controle de poluição (PROCKNOR, 2008).

3- Lagoas Anaeróbias.

Tais reatores ocupam grandes volumes operando com TA na faixa de 2 a 3 kgDQO/m³/dia. Além da baixa conversão, é difícil homogeneizar o meio, contribuindo para a baixa taxa de aplicação.

4.1.4 Potencial Energético da Planta de Biodigestão na Usina Iracema

A partir da produção de álcool da usina, é possível estimar a produção de vinhaça e, por conseguinte, a de biogás gerado em reatores UASB. A quantidade de biogás produzida associada à sua composição permite o cálculo do potencial energético deste.

Na Tab. (3) são mostrados os parâmetros utilizados para a usina Iracema assim como o potencial do biogás.

Tabela 3 - Parâmetros da planta de biodigestão

Item	Valor	Unidades	Referência
Produção de Álcool	800	m ³ /dia	(PELLEGRINI , 2003)
Fator de produção de vinhaça	12	m ³ de vinhaça/m ³ de álcool	(VAN HAANDEL; CATUNDA, 1994 apud TELH, 2001)
Produção de vinhaça	9600	m ³ /dia	Cálculo
Fator de DQO da vinhaça	20	kg DQO/m ³	(SALOMON;LORA;MONROY; 2007)
DQO total removida da vinhaça	192000	kg DQO/dia	Cálculo
DQO removida no reator UASB	8	kg DQO/dia/m ³	(PROCKNOR, 2008)
Fator de conversão DQO-biogás	0,45	Nm ³ de biogás/kg DQOr	(SALOMON;LORA;MONROY; 2007)
Produção diária de biogás	86400	m ³ de biogás/dia	Cálculo
PCI do biogás	21353	kJ/Nm ³	(SALOMON;LORA;MONROY; 2007)
Potencial energético total da planta	21,4	MW	Cálculo

4.1.5 Geração de energia elétrica a partir do biogás

O biogás produzido pode ser utilizado em três diferentes ciclos motores. No presente estudo, analisam-se o motor a combustão interna, a turbina a gás e um ciclo vapor.

A partir dos rendimentos de cada ciclo estimam-se as potências desenvolvidas, na Tab.(4).

Tabela 4 - Potências geradas para 3 diferentes ciclos motores

Potencial energético total do biogás	21,4	MW	Cálculo
Eficiência do motor otto	30%		(SALOMON;LORA;MONROY; 2007)
Potência no motor otto	6,41	MW	Cálculo
Eficiência da turbina a gás	32%		(SALOMON;LORA;MONROY; 2007)
Potência na turbina a gás	6,83	MW	Cálculo
Rendimento do ciclo Rankine	37%		(Energy Nexus Group, 2002)
Potência do ciclo a Rankine com biogás	7,90	MW	Cálculo

4.2 Produção da Vinhaça Concentrada

A vinhaça concentrada pode ser utilizada como fertilizante, suplemento para ração animal e para combustão em caldeiras.

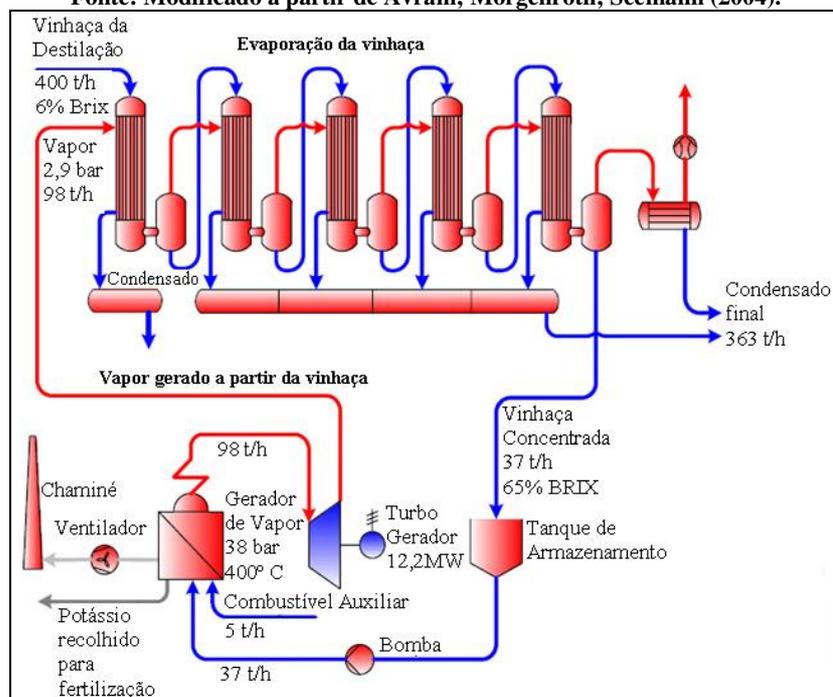
O processo de concentração, segundo Avram; Morgenroth; Seemann (2004), feito num evaporador de 5 efeitos, leva a vinhaça de 6% em conteúdo de substância seca até 65% em conteúdo de substância seca. O condensado extraído do evaporador de múltiplo efeito pode ser utilizado como água de diluição na fermentação e, se houver um excesso, este pode ser usado na irrigação.

O vapor necessário para a evaporação é produzido num gerador de vapor dedicado, no qual há a queima da vinhaça concentrada. Este método gera mais de 80% do vapor necessário, logo é necessário a injeção de combustível auxiliar para suprir a demanda térmica. O vapor a alta pressão é enviado a uma turbina a vapor que gera 12,2 MW de potência elétrica. Esta é mais do que suficiente para suprir os requisitos de energia do circuito. O condensado gerado no 1º efeito da evaporação alimenta o gerador de vapor (Fig.3).

Os gases de exaustão são tratados e tem praticamente emissão neutra de CO₂, devido ao uso de combustíveis renováveis. O potássio contido nas cinzas do queimador é utilizado como matéria-prima em fertilizantes.

Figura 3- Concentração da Vinhaça e Geração de Energia Elétrica.

Fonte: Modificado a partir de Avram; Morgenroth; Seemann (2004).



Os principais parâmetros deste sistema são enumerados na Tab.(5).

Tabela 5 - Parâmetros da planta de geração de vapor e de energia elétrica a partir da evaporação e queima da vinhaça

Item	Valor	Unidades	Referência
Produção de vinhaça a 6%DS	400	m3/h	(PELLEGRINI , 2003)
Conteúdo seco	24	m3/h	Cálculo
Vinhaça a 65%DS	37	m3/h	Cálculo
Condensado final	363	m3/h	Cálculo
Razão combustível auxiliar/vinhaça 65%DS	0,13	m3 combustível/m3 vinhaça	(AVRAM; MORGENROTH; SEEMANN, 2004)
Combustível auxiliar	5	m3/h	Cálculo
Razão de vapor gerado/vinhaça total	0,25	m3 vapor gerado/m3 vinhaça a 6%	(AVRAM; MORGENROTH; SEEMANN, 2004)
Vapor gerado	98	m3 vapor gerado/h	Cálculo
Entalpia vapor superaquecido a 38bar e 400C	3169	kJ/kg	(WYLEN; SONNTAG; BORGNACKE, 2003)
Entalpia do vapor saturado a 2,9 bar	2724	kJ/kg	
Potência na turbina	12,2	MW	Cálculo

5. Análise de viabilidade econômico-financeira

Esta métrica valora os sistema através do custo financeiro, ou seja, fornece o ponto de vista do empresário e do mercado financeiro para decidir sobre aplicar ou não o capital em determinado investimento (SILVA, 2009).

Em Gitman (2003) apud Dantas F. (2009) a projeção de fluxos de caixa relativos aos anos de empreendimento deve conter o maior nível de detalhamento para evitar surpresas desagradáveis, ou seja, para que a tomada de decisão seja eficientes.

Pellegrini (2009) adota a metodologia de cálculo baseada na Demonstração de Resultados do Exercício (DRE), considerada idêntica para cada ano de vida útil do projeto (Tab. (6)). A DRE permite então identificar dois importantes parâmetros de tomada de decisão:

VPL: equivalência monetária atual da soma dos fluxos de caixa descontados futuros, dada uma taxa de desconto. Quanto maior o VPL, mais interessante torna-se o investimento.

TIR: taxa de desconto que iguala o VPL a zero. Quanto maior a TIR, mais interessante torna-se o investimento.

Tabela 6 - Demonstração de Resultado do Exercício

Receita ou Venda Bruta
(-) <i>Impostos sobre a venda e encargos setoriais</i>
(=) Receita Líquida
(-) <i>Custo Operacional (O&M)</i>
(=) Lucro Operacional
(-) <i>Depreciação</i>
(-) <i>Despesas não-operacionais</i>
(=) Lucro antes da tributação
(-) <i>Imposto sobre a receita</i>
(=) Lucro Líquido
(+) <i>Depreciação</i>
(=) Geração de Caixa do Projeto

6 Resultados da Análise Econômico-Financeira aplicada ao caso da usina Iracema

6.1 Indicadores Econômicos

A análise econômica considera os seguintes parâmetros (PELLEGRINI, 2009):

- Vida útil de 20 anos.
- Depreciação linear em 20 anos.
- Taxa de desconto de 10% ao ano.
- Imposto sobre a receita de 4,08%.

A valor de venda da eletricidade é parametrizado de forma a identificar diferentes cenários. Desta forma, calculam-se as respectivas VPLs e TIRs, permitindo uma análise ampliada em função da variação do valor de venda da energia elétrica. Tais valores são apresentados sem impostos.

6.2 A planta de biodigestão

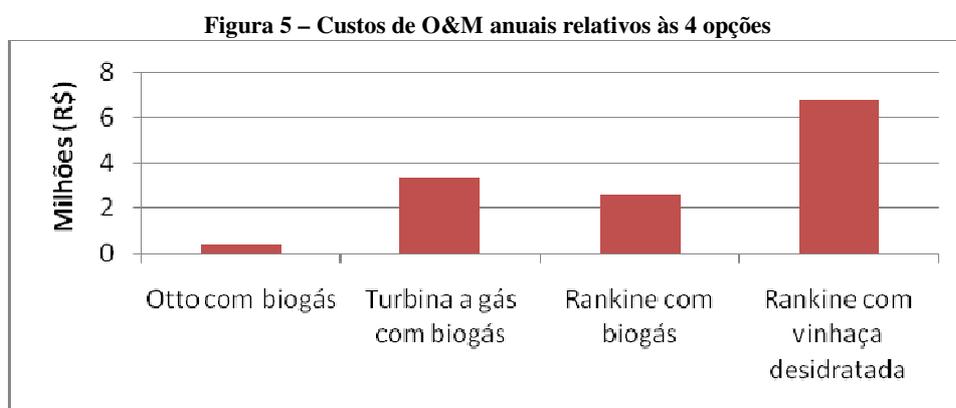
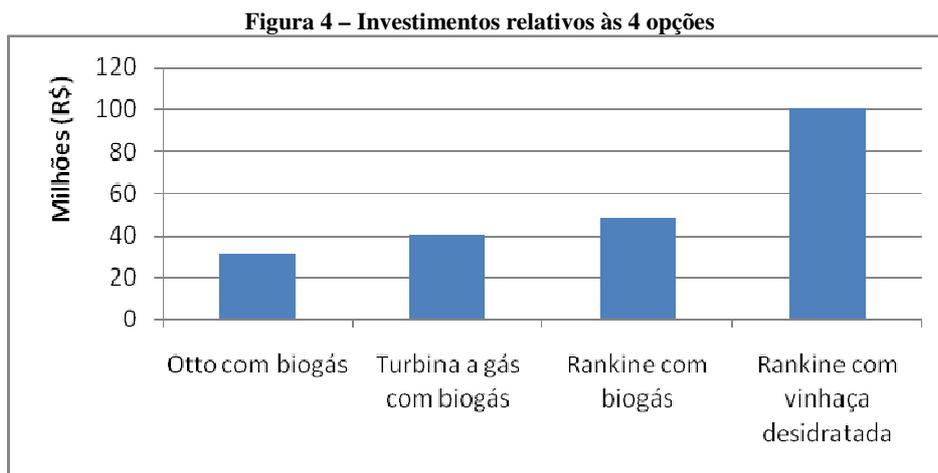
O reator UASB utilizado é dimensionado para uma carga diária estimada de 86400Nm³ de biogás produzidos a partir da vinhaça gerada na usina Iracema.

Salomon et al. (2007) propõe que para uma planta de biodigestão de 73125 Nm³ diários de biogás, o investimento é de R\$15.272.634,39 e custos anuais de O&M de R\$207.839,81¹.

Para a planta de biodigestão em estudo, então, assume-se um investimento de R\$18.045.205,94 e custos anuais de O&M de R\$245.571,73.

6.3 Investimentos e Custos de O&M dos quatro sistemas de conversão energética

A análise econômico-financeira mostra que a faixa de investimentos (Fig.4) e de custos de O&M (Fig.5) é bastante variável para o conjunto das quatro opções.



O ciclo Rankine com queima de vinhaça desidratada, que embora disponibilize a maior potência, é também aquele que exige os maiores investimentos e custos de O&M. Por outro lado, o ciclo Otto, com a menor potência disponível, demanda os menores investimentos e custos de O&M.

Os ciclos Rankine com biogás e turbina a gás com biogás apresentam investimentos e custos de operação e manutenção de mesma ordem, entretanto o ciclo Rankine disponibiliza uma potência superior.

¹ Valores atualizados para 2009 segundo o IGPm de 9,81%.

6.4 VPL e TIR dos quatro sistemas de conversão energética

A análise econômico-financeira das quatro opções é baseada no VPL (Fig.(6)) e na TIR (Fig.(7)).

Figura 6 – VPL dos quatro sistemas em função do preço da eletricidade

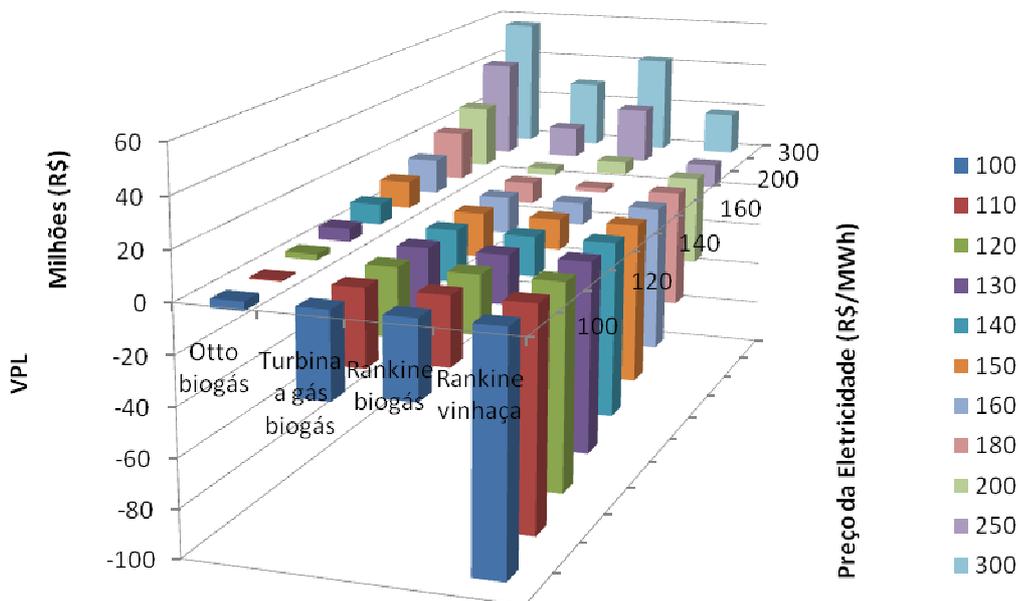
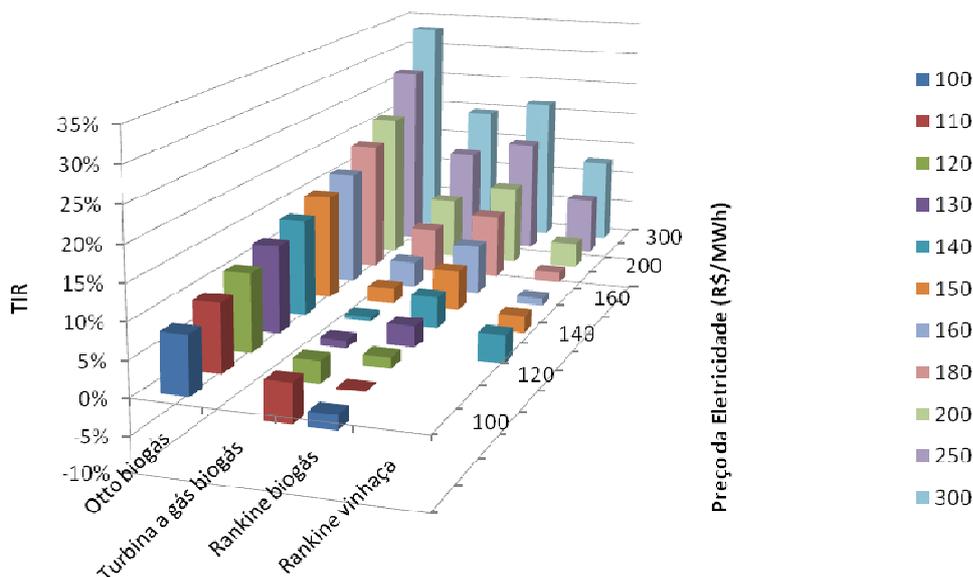


Figura 7 – TIR dos quatro sistemas em função do preço da eletricidade



A primeira opção a tornar-se viável é a do ciclo Otto, que necessita de investimentos e custos de O&M bastante inferiores aos demais. Além disso, o fato de a potência disponibilizada ser a menor dentre os 4 sistemas não o torna menos atrativo do ponto de vista econômico. Aliás, o VPL do ciclo Otto é o maior para a totalidade da faixa de preços de eletricidade analisada.

As outras três opções apresentam viabilidade econômica para valores de eletricidade elevados para os padrões atuais, a partir de R\$200/MWh. Salomon (2007) cita que para a geração de energia elétrica a partir do biogás de aterros sanitários o valor de venda da energia elétrica é de R\$169,00/MWh.

Comparando as alternativas de turbina a gás com biogás e ciclo Rankine com queima de biogás, esta apresenta melhores índices de VPL e TIR. Conforme discutido anteriormente, tais opções apresentam investimentos e custos de O&M de mesma ordem, entretanto a segunda opção disponibiliza maior potência.

O ciclo Rankine com queima de vinhaça desidratada apresenta investimento e custos de O&M elevados que não se justificam economicamente mesmo dada a maior potência disponibilizada. Para o valor de R\$300/MWh, o VPL seria inferior a R\$20 milhões. Tal VPL é obtido no ciclo Otto para um valor de venda na ordem de R\$180/MWh.

7. Referências Bibliográficas

- Avram, P., Morgenroth, B., & Seemann, F.. Benchmarking concept for an integrated sugar, ethanol and co-generation plant. *Zuckerindustrie*, v.129, n.12, p. 126-137, 2004.
- Camargo, C. A.. *Conservação de Energia na Indústria de Açúcar e Álcool*. São Paulo: IPT, 1990.
- Dantas Filho, P. L.. *Análise de custos na geração de energia com bagaço de cana-de-açúcar; um estudo de caso em quatro usinas de São Paulo*. São Paulo: Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Energia, 2009.
- Energy Nexus Group. *Technology Characterization: Steam Turbines*. Arlington, Virginia, 2002.
- Gitman, L. J.. *Administração financeira: uma abordagem gerencial*. São Paulo: Pearson, 2003.
- Granato, E. F., e Silva, C. L.. *Geração de Energia Elétrica a partir do Resíduo Vinhaça*. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2000.
- Lamônica, H. M.. *Potencial de Geração de Excedente de Energia Elétrica a partir da Biodigestão da Vinhaça*. Campinas: Centro de Tecnologia Canavieira, 2006.
- Nogueira, L. A.. *Biodigestão: a alternativa energética*. São Paulo: Nobel, 1986.
- Pellegrini, L. F.. *Análise e otimização termo-econômica-ambiental aplicada à produção combinada de açúcar, álcool e eletricidade*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.
- Pellegrini, L. F.. *Estudo da Cogeração em Ciclos Combinados com Gaseificação de Bagaço de Cana-de-Açúcar*. São Paulo, 2003.
- Portal Exame. (s.d.). Acesso em 2009 de Abril de 21, disponível em http://portalexame.abril.com.br/static/aberto/complementos/870/producao_brasileira_alcool.htm
- Procknor, C. (Maio de 2008). Acesso em 20 de Maio de 2009, disponível em <http://www.procknor.com.br/stabmaijun08.htm>
- Salomon, K., Lora, E., e Monroy, E.. *Custo do Biogás proveniente da Biodigestão da Vinhaça e sua Utilização*. 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica. Cusco, 2007.
- Silva, C. C.. *A atribuição de custos em sistemas energéticos agropecuários: uma análise em energia, termoeconomia e economia*. São Paulo: Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Energia, 2009.
- Souza, M. E., Fuzaro, G., e Polegato, A. R.. *Thermophilic anaerobic digestion of vinasse in pilot plant UASB reactor*. Sixth International Symposium on Anaerobic Digestion, p.191-200, 1991.
- Telh, M.. *Avaliação do uso de reator anaeróbio horizontal de leito fixo no tratamento de vinhaça sob condições termofílicas*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 2001.
- Van Haandel, A., e Catunda, P.. *Profitability increase of alcohol distilleries by the rational use of byproducts*. *Water Science and Technology*, V.29, N°8, p. 117-124, 1994.
- Wylen, V., Sonntag, e Borgnakke. *Fundamentos da Termodinâmica*. Edgard Blücher Ltda, 2003.

8. Direitos autorais

Os autor é o único responsável pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

Study of the utilization of vinasse to electricity generation using its biogas or by co-firing

Rafael Ramos Gonçalves Passos

rafael.ramos.passos@gmail.com

***Abstract:** This dissertation presents propositions of energetic utilization of vinasse, a substrate of alcohol and sugar plants with the purpose of obtaining a higher energetic efficiency as well as lower environmental impact compared to the present utilization of vinasse. This study characterizes alcohol and sugar plants, vinasse generated in the alcoholic distillation, anaerobic digestion methods and concentrated vinasse. It helps next studies of the energetic use of the biogas (generated in the anaerobic digestion). On one hand biogas is used in internal combustion motors, in gas-turbines, and in Rankine cycles. On the other hand, concentrated vinasse is used in a Rankine cycle.*

***Keywords:** vinasse, biodigestion, biogas, alcohol, concentration*