

Estimativa do potencial de geração de energia elétrica a partir da vinhaça

Altair Rodrigues¹, Reginaldo Ferreira Santos¹, Angélica Buzinaro Avaci², Helton Aparecido Rosa², Luiz Inácio Chaves², Eloi Gasparin^{1,2}

¹Faculdade Assis Gurgacz – FAG, Curso de Agronomia, Avenida das Torres n. 500, CEP: 85.806-095, Bairro Santa Cruz, Cascavel, PR.

²Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, PPGA – Programa de Pós Graduação em Energia na Agricultura – Nível Mestrado, Cascavel /PR.

altair.agro@hotmail.com, reginaldof@fag.edu.br, helton.rosa@hotmail.com, angélica_buzinaro@hotmail.com, l_inaciochaves@hotmail.com, eloigasparim@uol.com.br

Resumo: A vinhaça hoje é um dos principais resíduos em capacidade de poluição nas indústrias sucroalcooleiras, pois seu volume se mostra o principal empecilho para tratamento. Para cada litro de álcool produzido pela destilaria são gerados 10 a 14 litros de vinhaça. O aproveitamento da vinhaça para a produção de biogás aparece como uma alternativa que pode se tornar viável do ponto de vista econômico e ambiental devido a três pontos: tratamento do resíduo, produção de biogás para a geração de eletricidade e ainda a sobra do fertilizante tratado para aplicação nas lavouras. O objetivo principal deste trabalho foi estimar o potencial histórico de energia elétrica a partir da queima do biogás no processo de biodigestão anaeróbica da vinhaça de uma usina no Noroeste do estado do Paraná considerando um reator anaeróbico. Foi realizado um estudo de caso da produção de álcool da usina nas safras de 2004 a 2010. O estudo realizado neste trabalho mostra que até então a vinhaça serve apenas como biofertilizante na empresa, mas possui um grande potencial energético e pode ser transformada em energia elétrica e ajudar a suprir a demanda energética da empresa.

Palavras-chave: digestão anaeróbica, biomassa, fertirrigação.

Estimated potential for generation of electricity from the stillage

Abstract: The stillage is now one of the main waste pollution capacity in sugar and alcohol industries, because their volume shows that the main obstacle to treatment. For each liter of alcohol produced by the distillery are generated 10 to 14 liters of vinasse. The use of stillage for biogas production appears as an alternative that can become viable economically and environmentally by three points: the treatment of waste, production of biogas for electricity generation and also treated to plenty of fertilizer application on crops. The main objective of this study was to estimate the historical potential of electricity from burning biogas in the process of anaerobic digestion of stillage from a power plant in the Northwest of Paraná considering anaerobic reactor. We conducted a case study of ethanol production plant in the harvests from 2004 to 2010. The study in this paper shows that even then the stillage is only a biofertilizer in the company, but has great potential and energy can be transformed into electricity and help meet the energy demand of the company.

Key words: anaerobic digestion, biomass, fertigation.

Introdução

A indústria da cana no Brasil influi de forma marcante o cenário energético, econômico e social do país, e faz do Brasil o maior produtor do mundo de cana-de-açúcar, com cerca de 300 milhões de toneladas na safra 1997/1998, sendo aproximadamente 2/3 utilizados na produção do etanol, num total de 15,1 milhões de m³ e 14,7 milhões de toneladas de açúcar. A produção de álcool no Brasil vem cada vez mais se firmando como alternativa de substituição de combustíveis fósseis, pois além da frota veicular movida a álcool hidratado, existe também o consumo do álcool anidro no mercado interno e externo. (Granato e Silva, 2002). Os subprodutos principais desta estrutura são por volta de 80 milhões de toneladas de bagaço e cerca de 200 milhões de m³ de vinhaça (Macedo, 1997).

Sem alteração da matriz energética mundial, os combustíveis fósseis responderiam por 90% do aumento projetado na demanda mundial, até 2030, porém, há o esgotamento progressivo das reservas mundiais de petróleo, de acordo com estudos da *British Petroleum*, isso poderia ocorrer em menos de 40 anos, é uma realidade patética, porém cada vez menos contestada. Estudos apresentados pela Agência Internacional de Energia (IEA), indicam que no início de 2030 cerca de 30% do consumo total de energia no mundo virá de fontes renováveis. Atualmente, as energias renováveis representam um pouco mais de 14% da matriz mundial, sendo que a biomassa total participa com cerca de 12%. Nos países em desenvolvimento, essa parcela aumenta para 34%, chegando a 60% na África (Cortez et al. 2008).

Segundo Calvário (2008), a queima de combustíveis fósseis para a produção de energia é umas das principais causas do aquecimento global, segundo a autora 75% das emissões de CO₂ nos últimos 20 anos resultou da combustão de combustíveis fósseis. O relatório da Agência Internacional de Energia (IEA, 2004) aponta que as emissões globais anuais de CO₂ para a atmosfera vão aumentar 60% até 2030 se não houver novas estratégias de suprir as demandas energéticas e industriais.

A geração de energia por meio hidráulico, responde por um montante de 76% da oferta no país. Segundo o relatório do Balanço Energético Nacional de 2010, a geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiram 466,2 TW/h em 2009. Embora renovável, quando se trata principalmente de usinas hidrelétrica de grande porte apresenta custos construtivos elevados e reconhecidamente grandes impactos socioambientais. Daí a necessidade de fontes alternativas de geração de energia para um país que apresenta forte aquecimento na economia e projeções aumento na demanda energética para os anos subsequentes (Rego e Hernández, 2006).

No Brasil cerca de 25 milhões de pessoas (15% da população) vivem sem energia elétrica, isso por que residem em áreas em que não é possível o acesso a extensões de redes elétricas. (Walter, 2000). Diante disso há necessidade de utilização de fontes renováveis de energia que supram as necessidades energéticas e contribuam para o ponto de vista ambiental e social (Bermann, 2000).

Há muitos estudos e pesquisas voltadas à produção da cana de açúcar, álcool, açúcar e recentemente ao aproveitamento do bagaço na alimentação animal ou mesmo a utilização da queima do bagaço em caldeiras e a aplicação da vinhaça como fertilizante entre outros. Entretanto, poucos trabalhos são encontrados na literatura sobre o aproveitamento da vinhaça. Sabe-se que pela sua queima podem-se acionar turbinas a gás, gerando energia elétrica (Grato e Silva, 2002).

De acordo com Walter (2000), existem várias formas alternativas de energia renováveis como energia eólica, energia solar fotovoltaica, energia da biomassa, que é o caso da vinhaça gerado pela fermentação da cana, micro e pequenas centrais hidrelétricas. No entanto, por ser tecnologias de alto custo inicial e ser uma estrutura para médio e longo prazo ela sofre resistência por parte da população.

A cana de açúcar mostra-se como uma das culturas mais promissora do país para a geração de energia através da biomassa. Neste sentido, o crescimento econômico brasileiro na área de biomassa passa necessariamente pela via de produção da cana-de-açúcar e a sua transformação em álcool, açúcar, bagaço e vinhaça, o que é fato marcante atualmente para o desenvolvimento do país. A demanda por açúcar no mercado internacional tem sido crescente a cada ano, o mesmo pode se afirmar do álcool hidratado e anidro, devido à frota veicular nacional e internacional (Granato e Silva, 2002).

Para Almança (1994), a vinhaça é considerada uma suspensão de forma aquosa de sólidos orgânicos e minerais com componentes do vinho da destilação, que contém quantidades residuais de açúcar, álcool e componentes voláteis. Entretanto, de acordo com Barbosa (2006), a composição da vinhaça pode variar e muito ao longo do dia, do ano, da variedade, do índice de maturação, do tipo de solo ou até mesmo da sua origem. Quando se utiliza o caldo de cana para a fermentação a vinhaça é menos concentrada, se comparada à vinhaça de mosto de melaço ou de mosto misto. Devido ao teor de nutrientes, a vinhaça é utilizada praticamente com o fim de fertirrigação, até por que, ainda hoje não existe uma alternativa mais prática e econômica do aproveitamento deste resíduo, reduzindo os custos com adubação. Granato e Silva (2002) define a vinhaça com 2 a 6% de constituintes sólidos, grande quantidade de matéria orgânica e potássio e média porção de cálcio e magnésio.

É necessário considerar fatores ambientais, distribuição geográfica, disponibilidade de equipamentos e a capacidade de geração e consumo de energia alternativa pela biodigestão anaeróbica da vinhaça produzida. Numa razão de 570 milhões de toneladas de cana de açúcar processado por ano no Brasil, utilizando-se o processo de biodigestão anaeróbica, tem-se um ganho de dois bilhões de m³ de biogás o que equivaleria a 5 milhões de GW, ou seja, 596 mil MWh o que é o equivalente a geração de energia de cerca de 45 Itaipu juntas. (Granato e Silva, 2002). Com sua utilização na geração de energia elétrica, deixa-se de utilizar outras fontes com taxas de emissões de GEE superiores ao biogás, além disso, esta é uma fonte de energia disponível e renovável (Szymanski et al., 2010).

Segundo Theodoro (2005), a cada 1000 t de cana processada, é gerado 360 m³ de vinhaça. O resíduo vinhaça gerado é empregado “in natura” na lavoura da cana-de-açúcar, num volume que varia entre 400 a 500 m³ há⁻¹, de acordo com a necessidade de nutrientes do solo, substituindo em parte a utilização de fertilizantes químicos, mantendo a fertilidade do solo após anos do cultivo da cana-de-açúcar, mineralizando a matéria orgânica, aumentando o conteúdo de cálcio, potássio, nitrogênio e fósforo (Rossetto, 1988).

Porém a utilização da vinhaça como fertilizante causa preocupação devido ao seu alto grau de impacto quando distribuída no meio ambiente. Devido a suas características de baixo pH e elevada demanda química de oxigênio (DQO), a vinhaça se encontra entre os dejetos industriais de maior potencial poluidor (Damiano, 2005). O motivo desse poder impactante se deve ao elevado teor de matéria orgânica coloidal, o que leva a oxidação de praticamente todo o oxigênio disponível na água. Segundo Freire e Cortes (2000), a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) da vinhaça variam de 12.000 a 20.000 mg l⁻¹.

Segundo Granato (2003), a Portaria n° 322, publicada em novembro de 1978, pelo Ministério do Interior, proíbe o lançamento direto e indireto de vinhaça em qualquer coleção hídrica, fazendo com que as empresas de destilarias implantassem sistemas que utilizassem modos racionais para utilização e eliminação da vinhaça. As destilarias possuem diversas formas de eliminação da vinhaça por meios legais, como concentração do resíduo, fertirrigação, ração animal, fabricação de tijolos, vinhodutos marítimos e geração de biogás através da biodigestão anaeróbica. (Granato e Silva, 2002)

A biodigestão anaeróbica da vinhaça é umas das respostas recentes de um novo aproveitamento da vinhaça (Granato e Silva, 2002). No processo anaeróbico, segundo Gaspar (2003), ocorre à biodegradação de substâncias orgânicas complexas na ausência de oxigênio livre gerando como um dos produtos finais, metano, que é fonte alternativa de energia. O biogás proveniente dos reatores é definido como uma mistura gasosa, do processo de

fermentação anaeróbica da vinhaça, constituído basicamente de metano e dióxido de carbono. O poder calorífico e a grau de pureza depende segundo Castañón (2002) da variação de metano no biogás. A alta concentração de metano no biogás o caracteriza como ótimo gás.

Para Procknor (2010), na digestão anaeróbica da vinhaça, o teor de fertilizante potássico praticamente não sofre variação, entretanto, no atual processo, a remoção de DQO chega ao máximo de 90%, o que não é viável como controle da poluição. Apesar da significativa quantidade de fertilizante, existe neste resíduo um enorme potencial para a geração de energia através da conversão da matéria orgânica do vinhoto em metano; além de minimizar os eventuais riscos com acidentes durante manuseio deste resíduo, facilitaria sua aplicação na lavoura devido a maior neutralização do pH do efluente (Viana, 1988).

Há basicamente dois tipos de bactérias usadas para biodigestão da vinhaça nos reatores. As bactérias mesofílicas operam com temperatura na faixa de 35 a 37 °C, e as termofílicas na faixa de 55 a 57 °C. O controle da temperatura e pH é crucial para a eficiência do processo. No início do processo, o pH da vinhaça é muito baixo, levando a necessidade da adição de alcalinizante em função das bactérias precisarem trabalhar em meio basicamente neutro. Como os reatores trabalham sempre com altas taxas de recirculação, à medida que o processo avança o consumo de alcalinizante decresce rapidamente.

Muitas usinas utilizam enxofre no processo, o que da origem ao gás sulfídrico (H₂S), além de ser agressivamente corrosivo, é responsável pela emissão de odores nas estações de tratamentos de efluentes. Este gás predomina em pH próximo a 7, valores acima reduz a sua presença. Como é corrosivo, quando se trata principalmente da geração de eletricidade através do biogás, tem-se a necessidade de um tratamento prévio ou motores de combustão interna com materiais especiais. No Brasil, o padrão de emissão para os sulfetos, é de 1,0 mg L⁻¹ S. Já para o dióxido de enxofre (SO₂) que é um produto da combustão do biogás nocivo à saúde, o padrão primário é de 365 mg m⁻³ e o secundário de 100 mg m⁻³ em 24 horas (Salomon e Lora, 2005).

As usinas podem suprir suas próprias demandas de energia elétrica e vender o excedente para concessionárias de energia. Através da digestão anaeróbia da vinhaça tem-se como subproduto o biogás, que geralmente é usado em motores geradores para a produção de energia elétrica. A digestão anaeróbica constitui basicamente de uma câmara de fermentação, onde ocorre a biodigestão da matéria orgânica, uma campânula que armazena o gás produzido, ou se permite à saída deste gás, à entrada do substrato a ser fermentado e a saída para o efluente produzido pelo processo. Tecnologia simples, onde a principal preocupação é a manutenção das propriedades fermentativas da biomassa bacteriana. Na construção do

biodigestor eficiente com alta produtividade, deve-se atender basicamente a três requisitos: o saneamento, o atendimento de uma demanda energética e a utilização do material biodegradado como fertilizante (Granato e Silva, 2002).

A biodigestão anaeróbica pode apresentar seguintes benefícios como: menor consumo de energia, comparados com aeróbicos; melhor manejo do lodo; menor produção de biomassa; redução dos custos de tratamento; suporta elevadas concentrações de DBO; reduz a carga orgânica da vinhaça para sua aplicação no solo, e a diminuição do odor que garante qualidade ambiental; gera neutralização do pH na vinhaça sendo ideal para aplicação no solo; o efluente pode ser manejado para aplicação na fertirrigação. (Salomon, 2007; Cortez et al., 2007)

Mas também segundo Cortez et al. (2007) o processo possui alguns inconvenientes ou pontos negativos: Maior tempo dentro do biodigestor anaeróbico em relação a condições aeróbicas, pode produzir gases com odor desagradável ou corrosivos caso o reator não for planejado adequadamente.

Se conduzido em reatores convencionais, é lento, com tempos de retenção hidráulica do resíduo dentro do reator de vários dias, ou mesmo semanas, para se completar processo. Este era, sem dúvida, o principal obstáculo técnico para uma eventual aplicação do processo de digestão anaeróbica para a vinhaça, que segundo Souza (1992), pode ser superado na utilização do biodigestor de alta eficiência, os chamados UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor), que possibilitam a circulação da vinhaça através por uma região que apresenta elevada concentração de microorganismos.

Esse reator permite a separação das fases sólida, líquida e gasosa, com os gases sendo conduzido para a parte superior e os sólidos e líquidos direcionados. Por ser um processo anaeróbio, ocorre a formação de gases com odor desagradável (sulfurados). No entanto, se o projeto for bem elaborado e o reator bem vedado, incluindo a saída do efluente, a liberação destes odores é bastante minimizada. Segundo Von Sperling (2005), a eficiência de remoção da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) do reator UASB situa-se em média em 70% (para esgoto sanitário).

Material e Métodos

Este trabalho foi elaborado de acordo com as características de uma empresa do setor sucroalcooleiro localizada no Noroeste do estado do Paraná. Os dados foram obtidos na Central de Informações da empresa no que se refere à produção de álcool, quantidade de cana processada pela destilaria. Foi proposto um estudo para uma destilaria que produz 30.000 m³

de álcool dia⁻¹. Este trabalho terá como base o uso de reator anaeróbio de fluxo ascendente (Reator UASB), que possibilita a circulação da vinhaça através por uma região que apresenta elevada concentração de microorganismos. Esse reator permite a separação das fases sólida, líquida e gasosa, com os gases sendo conduzido para a parte superior e os sólidos e líquidos direcionados. Para cálculo da obtenção da quantidade de energia gerada pela biodigestão anaeróbica da vinhaça em kWh, utilizou-se o procedimento sugerido por Lamo (1991) e a confecção de tabelas e processamento tabulação dos dados em editor de planilhas Excel © para facilitar o procedimento.

Tabela 1 - Balanço energético de uma tonelada de cana

Obtenção /tonelada de cana	Valor energético (kcal)	%
250 kg de bagaço	450 x 10 ³	49,5
70 litros de álcool	392 x 10 ³	43,0
11,83 m ³ de biogás	67 x 10 ³	7,5
Energia Total	909 x 10 ³	100,0

Fonte: Lamo (1991)

Granato (2003) citando Lamo (1991) demonstrou o potencial energético de uma tonelada de cana pode gerar 909,90x10³kcal de energia (álcool + biogás), porém caso não se aproveite o biogás resultante da biodigestão da vinhaça deixa-se de recuperar 7,5% do total de energia disponível em uma tonelada de cana.

Tabela 2: Conversão do gás gerado da biodigestão da vinhaça em energia elétrica

Conversão	
1 t cana	90 L álcool
1 t cana	900 L vinhaça
1 m ³ vinhaça	7,4 m ³ biogás (70% metano)
1 m ³ álcool	10 m ³ vinhaça
1 m ³ biogás	2,57 KWh
1 m ³ álcool	190 KWh
1 t cana	17,1 KWh
DQO típica da vinhaça	20 kg/m ³
Produção de biogás	0,375 Nm ³ /kg DQO removido
Concentração média de metano no biogás	70%
Produção típica de metano	0,26 Nm ³ /kg DQO
Poder calorífico inferior do metano	34450 kJ/Nm ³

Fonte: adaptado Lamo (1991)

De acordo com Lamo (1991) cada tonelada de cana gera 250 kg de bagaço, 70 litros de álcool e 11,83 m³ de biogás, o que geraria respectivamente em valor energético, 450, 392 e 67 mil (kcal), que processa 8,3 mil toneladas de cana-de-açúcar por dia, utilizando-se o processo de biodigestão anaeróbica, tem-se um ganho de 554,7 mil x 10³ kcal de energia alternativa gerada. Para Granato e Silva (2002) dos resíduos da fabricação do álcool, a vinhaça é o subproduto que mais merece estudos e considerações, não só pelo potencial poluidor em virtude do volume gerado, mas também em potencial energético e de fertilizante. Tanto seu destino na lavoura como a geração de energia a partir do biogás exigem meticolosos estudos e observações. Foram vários os problemas ambientais, sociais, políticos e econômicos gerados quando o destino da vinhaça ocorreu nos leitos d'água ou nas estradas, embora a prática fora sempre vetada por dispositivos legais desde 1934. Em novembro de 1978 o Ministério do Interior publicou a Portaria n. ° 323 proibindo o lançamento de vinhaça em qualquer curso de água ou nas estradas, o que obrigou as usinas a apresentarem alternativas para o uso da vinhaça.

Resultados e Discussão

O processamento da cana-de-açúcar na usina inicialmente era realizado com corte manual e posteriormente esmagada ou processada. Acompanhando uma constante evolução a usina passou a utilizar métodos mecânicos para o corte da cana, influenciando diretamente na quantidade de matéria prima processada, gerando um dréscimo no tempo de queima obtendo-se mais rendimento e qualidade. Analisando do gráfico a seguir podemos analisar a evolução obtida na atividade canavieira.

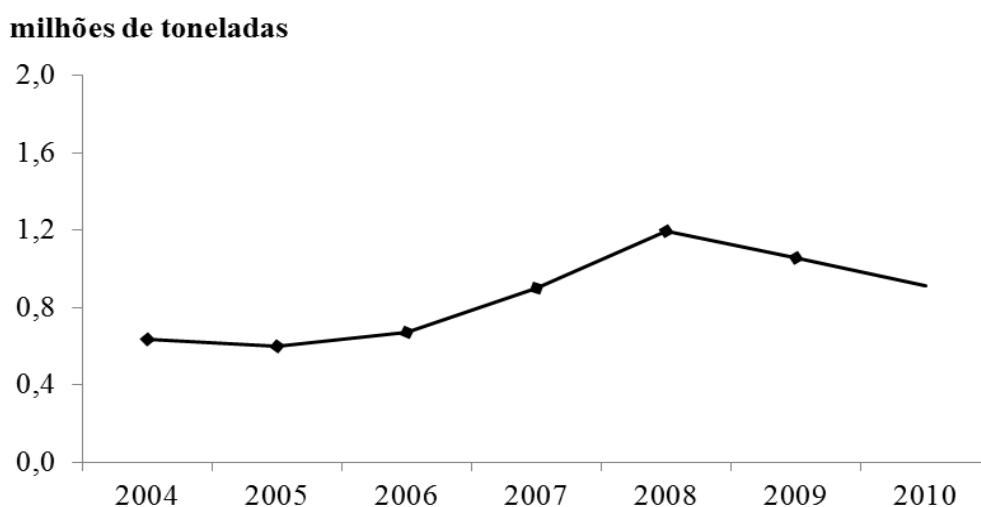


Figura 1 - Cana-de-açúcar processada pela usina para produção de açúcar e álcool.

Em 2007 seguindo a forte alta obteve a margem de 34,33% de aumento de cana-de-açúcar processada com 900.000 toneladas. A empresa atingiu a maior margem no período estudado em 2008 com 1.195.000 toneladas somando um aumento de 32,77% em relação ao ano anterior e 89,68% em relação ao primeiro ano estudado em 2004. Em 2009 a empresa começou a registrar baixas de 11,72% em relação a safra de 2008 com 1.055.000 de toneladas processadas, e em 2010 fechou o período estudado com 910.000 toneladas, 13,74% a menos que o ano anterior. A baixa observada nos dois últimos anos registrou um decréscimo de 23,85% em relação ao ano de 2008 onde a empresa somou os maiores números. No período estudado que foi de 04/10 a usina obteve uma média de 851,438,57 toneladas de cana processada.

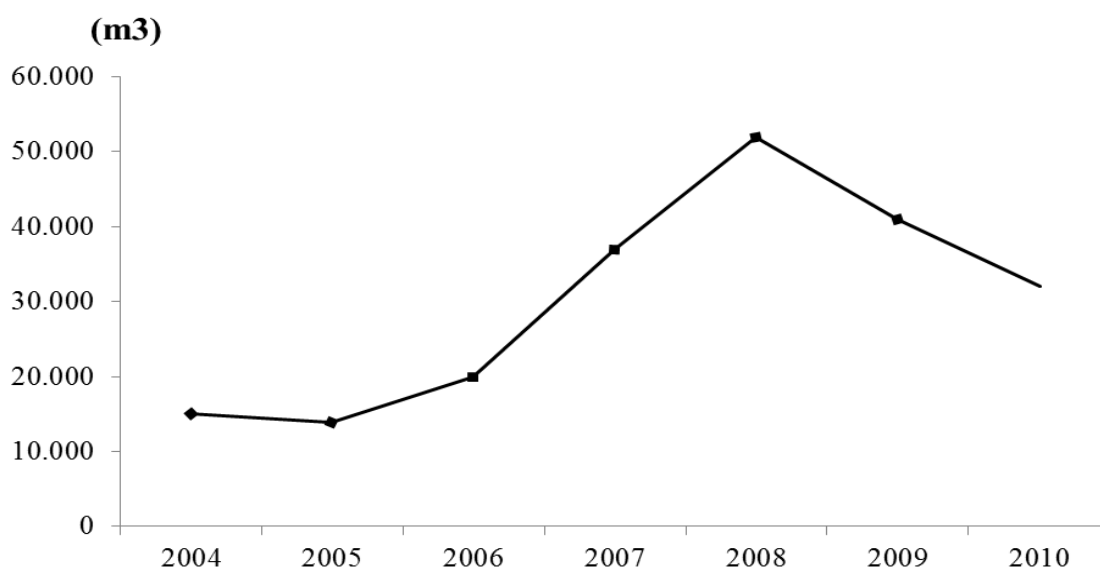


Figura 2 - Produção de etanol pela usina.

Observando a Figura 2, verifica-se o aumento da produção de álcool pela usina no período de 2004 a 2010. Nota-se que no ano de 2004 a usina obteve uma produção de 15.000 m³ de álcool (etanol anidro mais etanol hidratado). Em 2005 apresentou a primeira queda na produção com 140.000 m³, queda de 6,67%. No ano seguinte, 2006 a empresa produziu cerca de 20.000 m³ de álcool dando início a uma forte alta, que teve sequência em 2007 com 37.000 m³ e 2008 com 52.000 m³. Em 2009 foi o final da forte alta de produção, registrando 41.000 m³ e em 2010 32.000 m³ fechando o período estudado. A média de produção do período avaliado foi de 30.143 m³ de álcool.

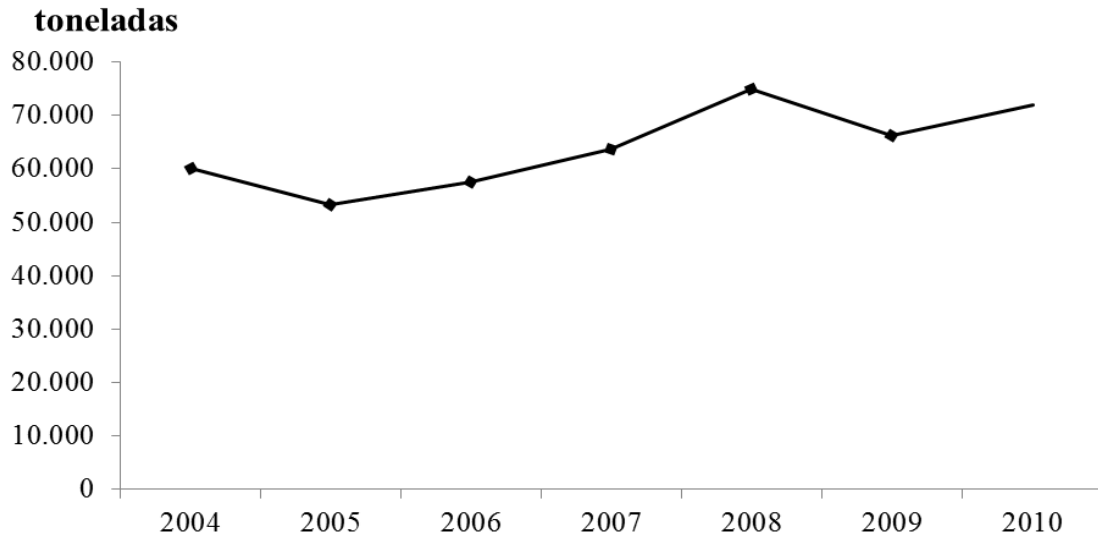


Figura 3 - Produção de açúcar da usina.

Na figura 3, nota-se a produção de açúcar pela usina, mantendo as mesmas proporções das altas registradas com a quantidade de cana processada e etanol produzido na unidade sucroalcooleira. Analisando o gráfico nota-se que seguindo uma forte alta que teve início em 2007, 2008 registrou números próximos a 80.000 toneladas de açúcar.

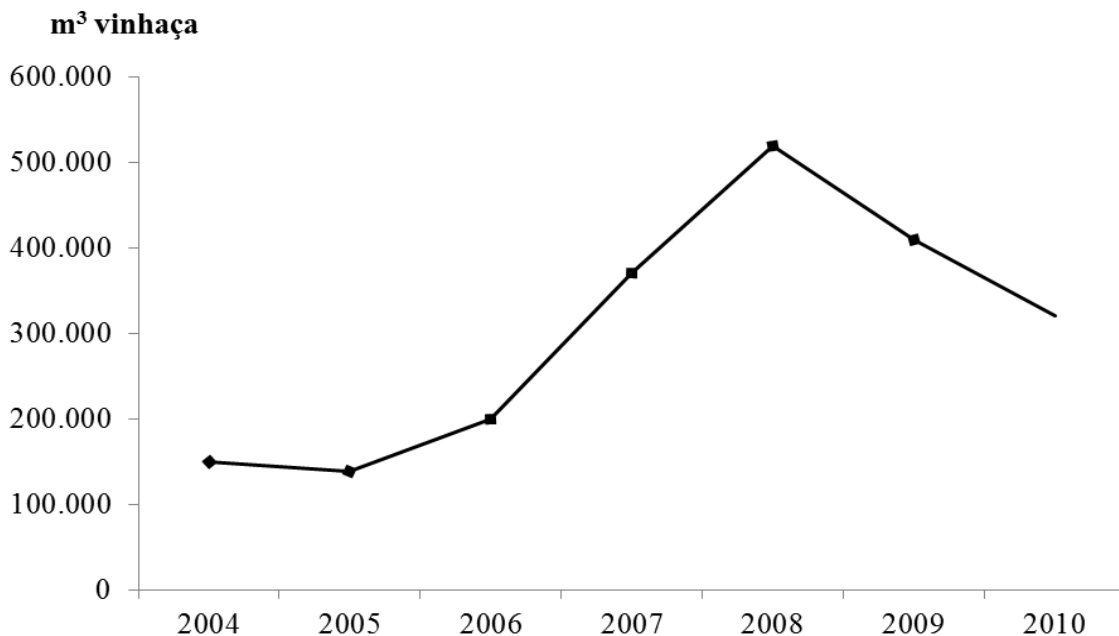


Figura 4 - Produção de vinhaça, relacionada à produção de álcool.

Na Figura 4 pode ser observado a produção de vinhaça a partir da produção de álcool, considerando que para produzir um litro de álcool são produzidos em média 10 L de vinhaça.

A vinhaça subproduto da produção de cana seguiu mesmas margens da produção de álcool, nos anos estudados obteve aumento de 113.33% de vinhaça, com média de 301.428,57 m³ de vinhaça. A vinhaça apresenta composição variável devido à natureza e composição do mosto.

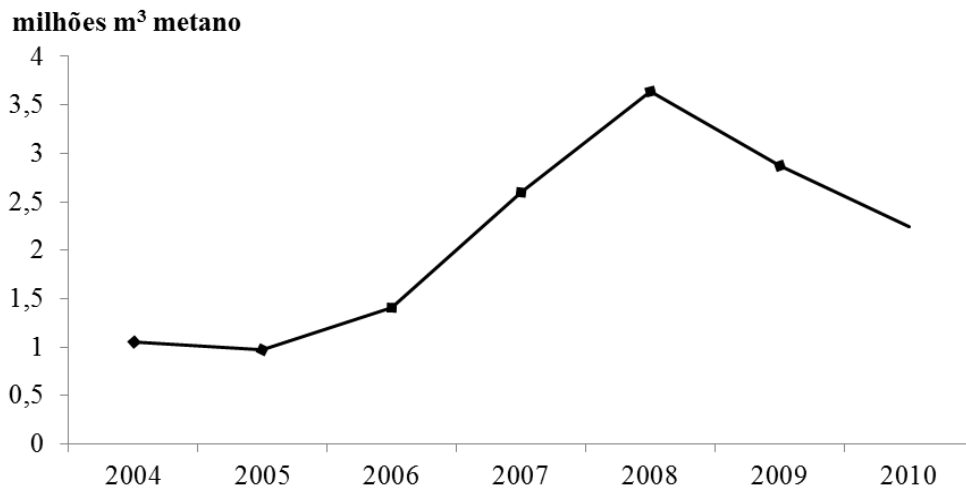


Figura 5 - Histórico do potencial de produção de biogás a partir da biodigestão de vinhaça.

A Figura 5 apresenta o potencial de produção de biogás a partir de vinhaça, considerando que a sua totalidade fosse utilizada para este fim, através da biodigestão em reatores tipo UASB. Verifica-se que há um considerável aumento de metano proveniente da biodigestão sendo o principal substancia para um ótimo gás. Observa-se que no primeiro ano estudado, 2004 eram produzidos 1,05 milhões m³de metano, seguindo as proporções da produção de álcool, vinhaça teve um aumento chegando à casa de 3,64 milhões m³, obtendo média de 2,11 milhões m³ de metano.

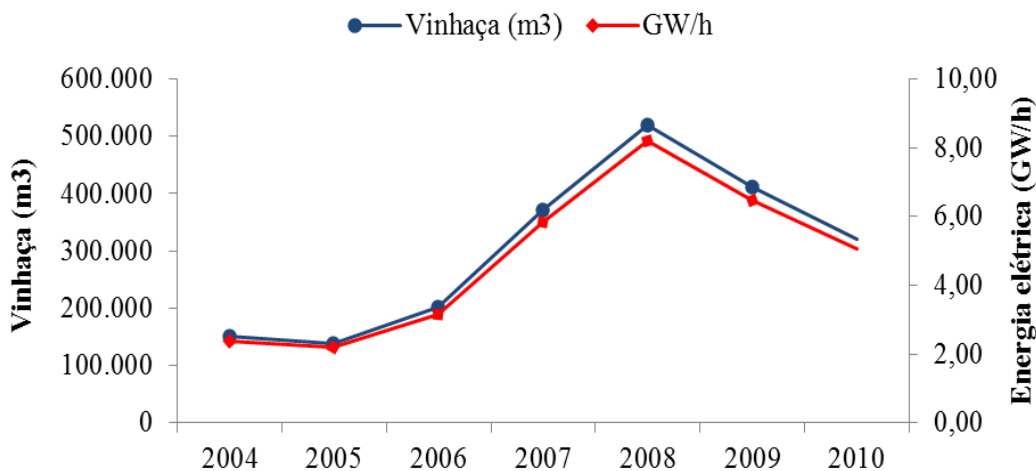


Figura 6 - Correlação entre a produção de vinhaça e o potencial de produção de energia elétrica.

Verifica-se na Figura 6, o potencial gerador de eletricidade da vinhaça em GW/h correlacionado com a produção de vinhaça oriunda da produção de álcool. Lanomica (2006) analisando a produção nacional de álcool na safra de 2004/05 constatou que o potencial de produção de energia elétrica proveniente do biogás da biodigestão da vinhaça é significativo, em torno de $9.292 \text{ TJ ano}^{-1}$ representando 0,75% do consumo nacional de energia elétrica do ano de 2003.

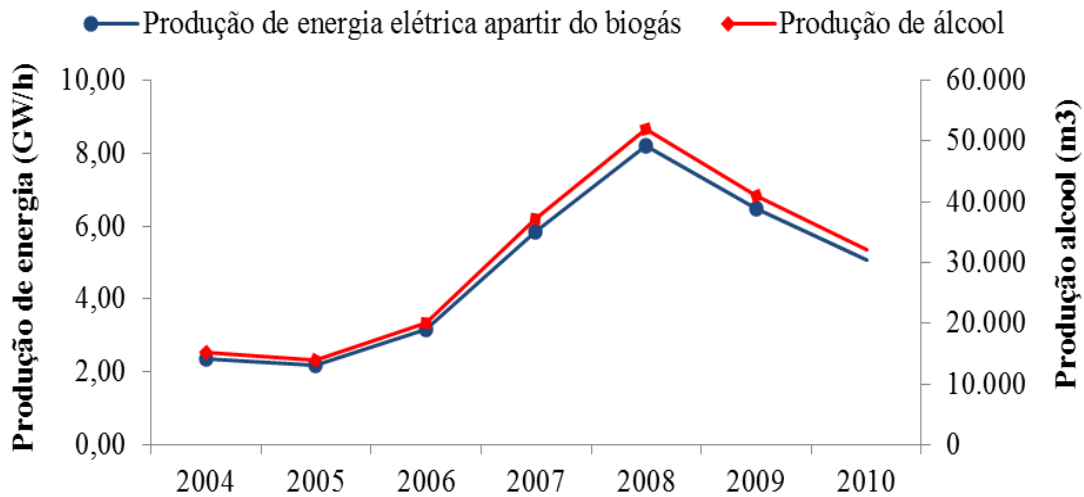


Figura 7 - Correlação histórica entre a produção de álcool e o potencial de geração de energia elétrica a partir de biogás obtido da vinhaça.

A Figura 7 representa a produção de álcool relacionada com a produção de energia dentro de período estudado que pode ser convertida em lucratividade pela empresa e diminuir as receitas. O setor possui ainda um grande potencial de geração de excedentes de energia elétrica utilizando apenas o bagaço e/ou a palha da cana-de-açúcar como combustível, em ciclos convencionais, podendo chegar a 194.400 TJ/ano (54 TWh/ano) com preços inferiores aos obtidos pela geração com biogás (Lamonica, 2006).

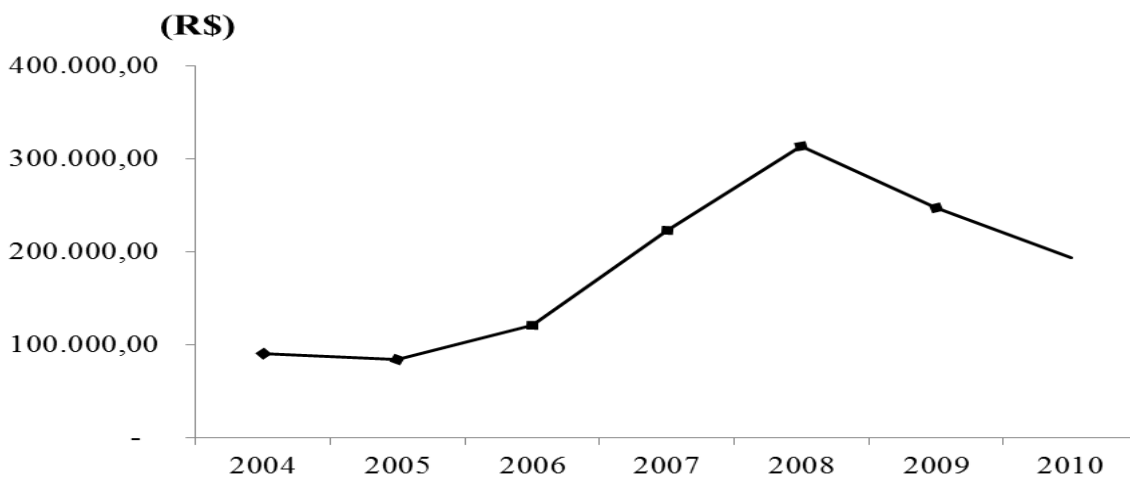


Figura 8 - Valor obtido pela produção de energia elétrica a partir da biodigestão da vinhaça.

Analisando a Figura 8, observamos a rentabilidade que a biodigestão da vinhaça pode gerar para uma usina sucroalcooleira. Além de proporcionar uma redução nos gastos utilizados com energia a empresa passa a utilizar uma tecnologia limpa, e passa a ter um ótimo biofertilizante para manejo dos canaviais. Pode ser uma tecnologia lucrativa, dependendo da utilização que se fizer do biogás, ou da estrutura de contabilização dos custos, mas, porém se parássemos de pensar na biodigestão somente como fator de renda ela se mostraria um grande negocio.

Conclusões

O sistema de biodigestão mostrou-se uma opção para o aproveitamento e tratamento da vinhaça, promovendo além de ganhos ambientais fertilizantes enriquecidos para aplicação na cultura. Trata-se de uma alternativa viável e duplamente benéfica ao meio ambiente. A tecnologia da digestão anaeróbica da vinhaça embora não esteja totalmente dominada em sua teoria pode se apresentar na pratica para diminuir custos exergéticos de uma usina.

Referências

- ALMANÇA, R. **Avaliação do uso da vinhaça da cana-de-açúcar na geração de energia Elétrica (Estudo de caso)**. Dissertação de Mestrado PIPGE USP. 1994
- BERMANN, C. **Sustentabilidade Energética no Brasil: Limites e possibilidades para uma estratégia energética sustentável e democrática**, Editora FASE, Rio de Janeiro, 2000.
- CALVÁRIO, R. Porque não vão os biocombustíveis salvar o planeta. **Vírus**. abr/maio 2008
- CASTAÑÓN, N. J. B. **Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais**. São Paulo, 2002.
- CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; AYARZA, J. A. C. **Biomassa no Brasil e no mundo**. In: CORTEZ, L. A. B; LORA, E. E. S.; GOMEZ, E. O. (org). "Biomassa para energia". Campinas, São Paulo. Editora da UNICAMP, 2008.
- FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. Vinhaça de cana-de-açúcar. Ed. Agropecuária, **Guaíba**. 2000. 203p.
- GRANATO, E. F.; SILVA, C. L. **Geração de energia elétrica a partir do resíduo vinhaça**. An. 4. Encontro Energia no Meio Rural, 2002.
- GRANATO, E. F. **Geração de energia através da biodigestão anaeróbia de vinhaça**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Estadual Paulista, Bauru.
- LAMONICA, H. M. **Potencial de geração de excedentes de energia elétrica com o biogás produzido a partir da biodigestão da vinhaça na indústria sucro-alcooleira brasileira**. *Encontro de Energia no Meio Rural*, Campinas (SP, Brazil) [online]. 2006.

PINTO, CLÁUDIO PLAZA. **Tecnologia da Digestão Anaeróbica da Vinhaça e Desenvolvimento Sustentável**, Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp, 1999.

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

REGO, E.E.; HERNÁNDEZ, F.M. **Eletricidade por digestão anaeróbia da vinhaça de cana-de-açúcar. Contornos técnicos, econômicos e ambientais de uma opção**. An. 6. Enc. Energ. Meio Rural 2006.

SALOMON, K.R., LORA, E.E.S. Estimativa do potencial de Geração de Energia Elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. **Biomassa & Energia**, v.2, n.1, p.57-67, 2005.

SALOMON, K. R., Avaliação tecnico-Economica da Biodigestão Anaeróbia das Vinhaças. Universidade de São Paulo. Trabalho apresentado no II GERA: **Workshop de Gestão de Energia e Resíduos na Agroindustria Sucroalcooleira**, realizado em 2007, em Pirassununga.

SZYMANSKI M. S. E., BALBINOT R., SCHIRMER W. N. **Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás e obtenção de créditos de carbono – estudo de caso**. Ciências Agrárias, v. 31, p. 901-912, 2010.

THEODORO. J. M. P. **Considerações sobre os custos ambientais decorrentes do gerenciamento dos resíduos sólidos e dos efluentes industriais gerados no setor sucroalcooleiro: um estudo de caso**. 2005. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Centro Universitário de Araraquara, Araraquara.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 2005.

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

Recebido para publicação em: 21/05/2012

Aceito para publicação em: 12/06/2012