

# **BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DA VINHAÇA: APROVEITAMENTO ENERGÉTICO**

Eduardo Augusto Dos Santos<sup>1</sup>

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Paula Andrea Nascimento Dos Reys Magalhães<sup>2</sup>

## **RESUMO**

Neste trabalho foram analisadas as questões técnicas e sustentáveis da utilização da vinhaça para obtenção de biogás, rico em metano, bem como apresentar índices de produtividade e características da aplicação deste subproduto. Detalhou-se o processo para obtenção do biogás, bem como algumas experiências realizadas no Brasil. Foi analisada a relação custo benefício, evidenciando os indicadores de produção, melhoria no índice de matéria orgânica e alguns custos envolvidos e a utilização do Biogás gerado como alternativa para produção de energia elétrica a partir de índices de eficiência: custo e impacto ambiental. Assim o trabalho foca nos quesitos: sustentabilidade e viabilidade econômica (níveis de produção, qualidade e melhoria do processo) que a biodigestão da vinhaça pode oferecer à indústria do etanol no Brasil.

**PALAVRAS CHAVE:** Biodigestão, Biogás, Etanol, Metano, Vinhaça.

## **1 INTRODUÇÃO**

As implicações causadas pela escassez de recursos naturais em consequência do ritmo acelerado, e cada vez maior, de consumo de bens materiais vem despertando o interesse da sociedade e da comunidade científica para o uso de tecnologias e alternativas baseadas no conceito de desenvolvimento sustentável. A grande preocupação no Brasil no que diz respeito à matriz energética, dependente quase que totalmente das hidroelétricas, o que abriu espaço valioso para uma das alternativas mais viáveis de tecnologias sustentáveis: a conversão de biomassa em energia.

A partir da crise do petróleo no Oriente Médio nos anos de 1970, o governo brasileiro instituiu o Proálcool (Programa Nacional do Álcool), que foi um programa de substituição em larga escala dos combustíveis veiculares derivados de petróleo que ocasionou a aceleração da

---

<sup>1</sup> Aluno do Curso de Engenharia de Produção da Universidade de Rio Verde

<sup>2</sup> Professora da Universidade de Rio Verde - Orientadora

produção e incentivo aos produtores de etanol no Brasil (GRANATO, 2003). Com a reunião das Nações Unidas no Rio de Janeiro em 1992, os países industrializados assumiram o compromisso de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera bem como uma série de medidas para redução de impactos ambientais, garantindo o crescimento econômico sustentável. Esta reunião trouxe bastante notoriedade aos estudos de produção de etanol, devido ao baixo impacto ambiental da produção balanço de CO<sub>2</sub> favorável e possibilidade de produção de energia elétrica a partir da queima do bagaço de cana. Em 2001, foi firmado o protocolo de Kyoto que teve como objetivo redução da taxa de emissão de CO<sub>2</sub> em 6% em relação à 1990, entre 2008 e 2012. Procura-se atender aos índices de emissão de poluentes firmados nesses acordos, atualmente no Brasil é adicionado 27% de Etanol na gasolina comercializada. Essa medida já está sendo tomada em diversos países, inclusive nos Estados Unidos, maior consumidor de combustíveis fósseis (GRANATO, 2003).

Com características de subproduto, a vinhaça ainda é vista como resíduo pelas usinas do setor, que veem na fertirrigação a melhor opção de direcionamento com menor custo envolvido, embora existam alternativas completamente viáveis de aproveitamento da vinhaça, como a Biodigestão Anaeróbica para Geração de Biogás, foco deste trabalho. Utilizaram-se os conceitos de desenvolvimento sustentável para demonstrar a importância da utilização do biogás, por meio da biodigestão da vinhaça para geração de energia elétrica e diagnosticar os pontos de melhoria no processo produtivo.

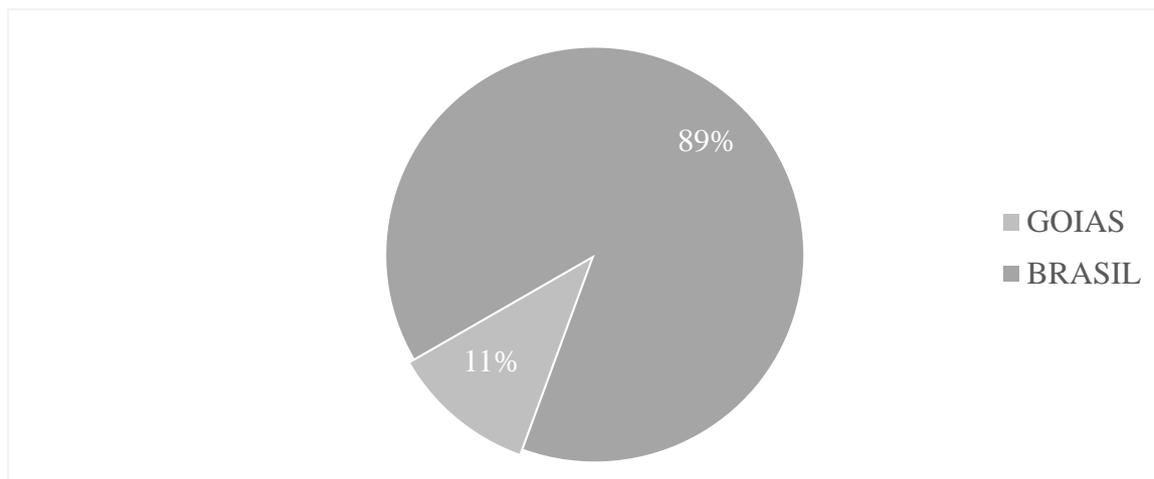
## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com incentivos do governo, boa aceitação da sociedade e índices de eficiência técnica e econômica satisfatórios, a indústria do etanol no Brasil apresenta grande crescimento.

TABELA 01 - Evolução da Produção de Etanol em Goiás e no Brasil.

Período	Produção de Etanol em Goiás	Evolução em Goiás	Produção de Etanol no Brasil	Evolução no Brasil
1980 - 1989	2.090 Mil m <sup>3</sup>	-	88.183 Mil m <sup>3</sup>	-
1990 - 1999	3.733 Mil m <sup>3</sup>	44%	129.291 Mil m <sup>3</sup>	32%
2000 - 2009	9.202 Mil m <sup>3</sup>	59%	174.284 Mil m <sup>3</sup>	26%
2010 - 2013	12.581 Mil m <sup>3</sup>	71%	100.827 Mil m <sup>3</sup>	31%

Fonte: União das Industrias da Cana de Açúcar – ÚNICA (Maio, 2015)



Fonte: União das Indústrias da Cana de Açúcar – ÚNICA (Maio, 2015)

FIGURA 01 – Participação do Estado de Goiás na Produção de Etanol Nacional em 2014.

Pode-se observar um crescimento bastante expressivo nas últimas décadas em todo cenário nacional e uma evolução impressionante na produção de Etanol no Estado de Goiás, que atualmente representa 11% de todo etanol produzido no Brasil. Todo esse potencial faz do Brasil o maior processador de cana de açúcar e o segundo produtor de etanol do mundo, atrás apenas, dos Estados Unidos. De acordo com Cordeiro (2011), juntos, Brasil e EUA, correspondem a 90% de toda a oferta mundial, sendo o Brasil maior exportador do mundo.

Com índices de produção elevados, a visibilidade e a preocupação com o setor também crescem, principalmente, no que diz respeito aos impactos ambientais gerados pelos seus resíduos. Os subprodutos deste setor totalizam valores impressionantes. Segundo Souza (2012), para cada tonelada de cana processada são gerados em média 250 kg de bagaço, no entanto, este não é o resíduo mais preocupante no setor, devido sua forte utilização como combustível em caldeiras para geração de vapor para produção de energia elétrica. Cabe à vinhaça o título de subproduto com maior volume e possibilidade de impacto ambiental, embora ela represente um potencial energético bastante significativo que será explorado neste trabalho. Segundo Lamo (1991), a relação da produção de vinhaça por litro de etanol está entre 10 e 15 litros. Na tabela é mostrado a relação da produção de vinhaça por produção de etanol médio de três unidades produtoras de etanol no Estado de Goiás.

TABELA 02 - Relação da produção de vinhaça por etanol.

Safra	Relação (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )
2010	9,9
2011	9,0
2012	9,5
2013	7,1
2014	9,0

Fonte: Pesquisa realizada em contato unidades produtoras de Goiás.

Todo esse volume de vinhaça gerado é, quase sempre, utilizado na lavoura da cana de açúcar num processo chamado de fertirrigação, que mantém a fertilidade do solo após anos de cultivo, mineralizando a matéria orgânica, aumentando conteúdo de cálcio, potássio, nitrogênio e fósforo e redução da utilização de fertilizantes químicos (ROSSETTO, 1983).

Esta utilização da vinhaça é reconhecida como a solução para o problema do direcionamento desde subproduto, porém, o nitrogênio presente na composição química da vinhaça pode infiltrar no solo atingindo camadas profundas até o lençol freático, isto acontece quando numa única área é dosado uma quantidade superior a 400 m<sup>3</sup> de vinhaça por hectare (PINTO, 1999). Abaixo são apresentados resultados analíticos referentes à composição química típica da vinhaça obtida mediante de análises laboratoriais.

TABELA 03: Composição Química da Vinhaça.

Parâmetros	Unidade	Resultados analíticos
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	10.500
Nitrato (como N)	mg/L	< 0,3
Nitrito (como N)	mg/L	< 0,03
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	35
Sódio	mg/L	20
Cálcio	mg/L	350
Potássio	mg/L	2.100
Magnésio	mg/L	250
Fósforo Total	µg/L	75.000

Fonte: Ensaio realizados por Laboratório do Estado de Minas Gerais

A prática da Fertirrigação, embora, possa não representar riscos ambientais elevados quando seu controle de dosagem é eficaz, como é evidenciado pela tabela acima, a Vinhaça possui em sua composição alguns nutrientes importantes para manutenção da saúde do solo,

todavia, esta utilização não explora os seus recursos potenciais, sendo de fato uma maneira mais prática de destinar o resíduo.

De acordo com os conceitos de desenvolvimento sustentável, o que classifica, assim, a biodigestão de vinhaça como tecnologia limpa, o aproveitamento do biogás da vinhaça contribui significativamente para total exploração dos recursos da cana de açúcar, numa melhoria à conversão energética do recurso e não eliminando a possibilidade de utilização na Fertirrigação (LAMO, 1991).

Em condições normais de temperatura e pressão, a relação de produção de biogás por vinhaça é de 13 litros de biogás para cada litro de vinhaça, e sua composição é cerca de 60 a 65% de Metano ( $\text{CH}_4$ ) e 35 a 40% de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), quando tratada num biodigestor apropriado, as características fertilizantes da vinhaça são mantidas no resíduo (lodo) do biodigestor, contudo com risco ambiental bastante reduzido, devido à diminuição em cerca de 90% da DQO (Demanda Química de Oxigênio) e aumento do pH (PINTO, 1999).

O metano, componente da composição do biogás que garante maior poder calorífico, é obtido por meio de jazidas subterrâneas (associado ao petróleo) e mediante do processo de biodigestão anaeróbica. Com a escassez de combustíveis durante a Segunda Guerra Mundial, na França, Algéria e Alemanha, o metano de biodigestores foi usado como combustível de automóveis (CAMPOS, 1981).

A biodigestão anaeróbica consiste da conversão de matéria orgânica em metano, dióxido de carbono, hidrogênio, nitrogênio e sulfato de hidrogênio, por meio da ação de bactérias na ausência de oxigênio. A mistura formada é denominada de biogás e pode ser utilizada como combustível devido, à alta concentração de metano (Nogueira, 1986). Com esse processo, taxas elevadas de remoção de carga poluidora são alcançadas e a formação de um gás com alto valor energético (SALERNO, 1991).

Para as bactérias degradarem moléculas complexas, como celulose, proteína, amido e gordura (que compõe a matéria orgânica), estas são separadas em unidades mais simples que consistem na quebra de ligações entre as unidades básicas destas moléculas, provocando, geralmente, a produção de ácido acético, além de outros ácidos e seus respectivos sais, como o acetato. Esta etapa é chamada de hidrólise (PINTO, 1999). A decomposição da matéria orgânica pela ação da bactéria em meio anaeróbico é dividida nas fases acidogênicas e fase metanogênica (TOLEDO, 2001).

Na fase acidogênica, ocorre a conversão dos compostos gerados na hidrólise em ácidos voláteis, álcoois, dióxido de carbono, hidrogênio molecular e amônia. Nesta fase tanto bactérias anaeróbicas como facultativas (que vivem com ou sem oxigênio) realizam a conversão. As facultativas ajudam na eliminação do oxigênio dissolvido no meio, o que reduz o risco para as bactérias anaeróbicas, além de produzir alimento para elas. Na fase metanogênica, os compostos gerados na etapa anterior são convertidos pelas bactérias metanogênicas em metano e dióxido de carbono (GRANATO, 2003).

Acredita-se que, embora, quase 70% de todo o metano formado no processo é proveniente do acetato e o restante do dióxido de carbono e hidrogênio, esta informação ainda não é precisa, portanto, existe a necessidade de se considerar uma etapa intermediária na formação do metano, a fase acetogênica, cujos ácidos orgânicos e os álcoois são convertidos em acetato, dióxido de carbono e oxigênio molecular, que são utilizados pelas bactérias metanogênicas (PINTO, 1999). Na Figura 2, mostra-se as etapas da fermentação anaeróbica para obtenção do metano:

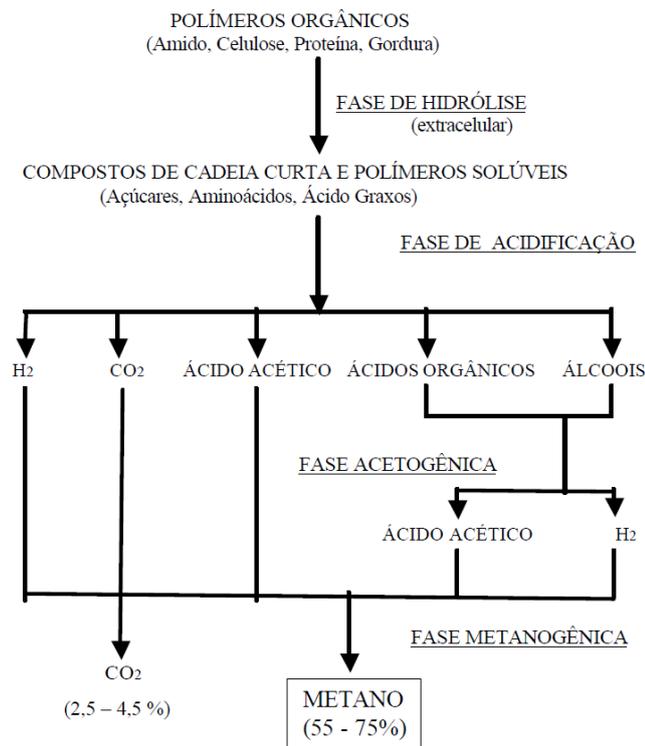


FIGURA 02 - Etapas da fermentação anaeróbica para produção de Metano

Fonte - PINTO, 1999

TABELA 04 - Características do Biogás (considerando biogás com 65% de Metano) e outros combustíveis

Combustível	Biogás	Metano	Álcool	Gasolina	Diesel
Quantidade	1 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>	1 Litro	1 Litro	1 Litro
Poder Calorífico Inferior (KJ)	19.500	36.000	19.812	32.486	37.492
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	1,2	0,72	809	739	876
1 m <sup>3</sup> de metano equivale	1,5 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>	1,8 litros	1,1 litros	0,96 litros
1 m <sup>3</sup> de biogás equivale	1 m <sup>3</sup>	0,65 m <sup>3</sup>	1,2 litros	0,72 litros	0,62 litros

Fonte: LUCAS, 1990

Os biodigestores, considerados uma tecnologia simples, consistem, basicamente de uma câmara de fermentação, que se compõe por uma entrada do substrato a ser fermentado, uma saída para o gás gerado e uma saída para o efluente produzido pelo processo. Por projeto, a concepção de um biodigestor deve ter por finalidade o atendimento das demandas específicas para cada caso, por exemplo, saneamento, atendimento de uma demanda energética e a utilização do resíduo do processo como fertilizante (GRANATO, 2003). Os biodigestores podem ser classificados de acordo com o tipo de construção, modo de operação, forma de armazenamento do gás, fluxo das substâncias em fermentação, temperatura de operação, opção de agitação e opção de dispositivos para agregar a biomassa bacteriana. A tabela abaixo mostra essa classificação:

Tabela 05: Classificação de Biodigestores (Pinto, 1999).

Tipo de Operação	Forma de Construção	Armazenamento de biogás	Faixa de Temperatura	Fluxo do material
Batelada	Enterrada	Gasômetro	Criofílico	Vertical
Semicontínua	Semienterrada	Gasômetro externo	Mesofílico	Horizontal
Contínua	Externa	-	Termofílico	Ascendente

Fonte: PINTO, 1999

Temperatura, pH e acidez do meio, composição e concentração do resíduo e agitação são os fatores que influenciam na biodigestão. A temperatura está relacionada à produtividade. As bactérias que operam em faixa de temperatura abaixo de 20°C são chamadas psicofílicas; as que operam entre 20 a 45°C são chamadas mesofílicas e acima de 45° são chamadas de termofílicas. Como a taxa de produção de biogás aumenta com a

elevação de temperatura, a faixa termofílica apresenta maior índice de produtividade e menor custo graças ao menor tempo de residência no equipamento (PINTO, 1999).

A vinhaça é obtida com temperaturas acima de 100°C e a hidrólise ocorre de maneira mais eficiente em faixas de 55 a 70°C para se trabalhar na faixa termofílica, portanto, é necessário um sistema de controle de temperatura, o que faz a maior parte dos biodigestores trabalharem na faixa mesofílica. O pH do meio deve ser mantido entre 6 e 8, sendo a faixa de 7,0 e 7,2 considerada a melhor para o mantimento da vida das bactérias (PINTO, 1999).

O controle do pH é função do acúmulo de bicarbonato, do percentual de CO<sup>2</sup> no gás, concentração de ácidos voláteis e amônia. A agitação é importante para garantir o maior contato do substrato com as bactérias, garantindo homogeneidade e eliminando a possibilidade de flotação de partículas e obstruções. Uma vez que a matéria orgânica é retirada da vinhaça para formação do biogás, gera então, um lodo. A composição e concentração deste resíduo influenciará de maneira direta na produção de biogás (PINTO, 1999).

Quanto maior a concentração de sólidos maior terá sido a produção de biogás, bem como está relacionada diretamente a Demanda Química de Oxigênio (DQO) com a produção de metano (PINTO, 1999).

## **METODOLOGIA**

Para a realização do presente trabalho foram coletados dados de três usinas produtoras de etanol no Estado de Goiás, todas com processos similares de produção e utilização dos resíduos. As informações referentes à relação de produção de vinhaça por etanol foram obtidas por meio dos sistemas de controle de cada empresa.

A UNICA (União das Indústrias da Cana de Açúcar) controla e divulga dados referentes à produção da maioria das usinas do Brasil. Com este instituto, foi obtido o histórico de produção no país e no Estado de Goiás, bem como a distribuição entre os diferentes tipos de etanol produzidos.

A composição química da vinhaça *in natura* foi obtida por meio de um laboratório de ensaios físico – químicos do Estado de Minas Gerais que atende várias usinas do Estado de Goiás.

O tipo de pesquisa foi a bibliográfica para contabilizar o potencial de geração de energia típico por unidade de biogás e vinhaça, bem como identificar os equipamentos que atendem as necessidades e diminuam as interferências no processo.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Quanto às alternativas de equipamentos biodigestores, observa-se, geralmente, que são resultados de combinações das características descritas na tabela de classificação dos biodigestores, sendo que o mais simples é o biodigestor de carga batelada em tambor metálico, considerado como base para as variações dos outros tipos de biodigestores. Nesta concepção básica, o material a ser biodigerido é disposto no tambor maior, o tambor menor é colocado sobre o material de maneira que indique o início da produção de gás mediante da sua elevação (NOGUEIRA, 1986).

Por meio dos métodos convencionais o processo de biodigestão possui um agravante para a utilização de vinhaça como substrato que é o tempo elevado de retenção do resíduo, que poderia levar até semanas para completar o processo. Os biodigestores com fluxo ascendente conseguem, por meio da recirculação externa ou retenção interna dos microorganismos, manter uma elevada concentração de microorganismos no interior do reator, o que reduz o tempo de retenção (Nogueira, 1986). Reconhecido e aplicado em todo o mundo pela sua alta eficiência, o reator de fluxo ascendente com leito de lodo (UASB), possui funcionamento simples, onde o efluente é bombeado de baixo para cima através do reator em condições anaeróbias, em que ocorre o crescimento de microorganismos anaeróbios compactos (grânulos). Esses grânulos são os responsáveis por transformar a matéria orgânica presente no efluente em biogás de maneira rápida e completa (PINTO, 1999).

Diversos estudos e plantas modelos foram realizadas no Brasil e em algumas partes do mundo como China e Japão, porém, a unidade com produção de biogás a partir da vinhaça com índices mais satisfatórios é a Usina São Martinho, localizada no estado de São Paulo, figura como maior usina de cana do mundo com produção de etanol acima dos 300 mil m<sup>3</sup>, o que gera aproximadamente 3 milhões m<sup>3</sup> de vinhaça. De início, considerou-se o aproveitamento do biogás da vinhaça na frota da empresa que não vingou devido ao baixo preço do diesel que tornava inviável economicamente essa utilização. Também cogitou-se a utilização para geração de energia elétrica, por meio da queima do biogás em caldeiras apropriadas, novamente, devido ao fator econômico, relacionado ao tempo de retorno do

investimento cuja aplicação foi desconsiderada. Existia na usina o interesse em secagem de levedura (utilizada no processo fermentativo para produção de etanol) que possui grande valor comercial, e foi utilizando o biogás em queimador adaptado para a secagem de levedura que a empresa encontrou a solução mais viável para aproveitamento do biogás. Com o sucesso dos testes realizados com esta aplicação, iniciou-se em 1995 a construção de um reator com capacidade de 5.200 m<sup>3</sup>. Foi evidenciado na usina melhora no índice de fertilidade da vinhaça biodigerida em relação a vinhaça “in natura”, devido ao pH que fica na faixa de 6,5 a 7,0 e redução da matéria orgânica em 80%.

## **CONCLUSÃO**

Evidencia-se, assim, que a aplicação da biodigestão da vinhaça na agroindústria possui boa amplitude, embora a utilização do recurso para geração de energia elétrica e como combustível veicular possua balanço financeiro desfavorável quanto ao tempo de retorno do investimento. Observa-se no caso da Usina São Martinho que muitas utilizações, ainda, podem ser descobertas para aproveitamento deste resíduo e que possam apresentar viabilidade econômica, além dos já mencionados ganhos relacionados à sustentabilidade.

## **REFERÊNCIAS**

CAMPOS, M. P. Produção de Biogás por Digestão Anaeróbia do Vinhoto, 1ª Parte. Brasil Açucareiro, vol. 98, n°1, p.47-53, n°2, p.15-29, jul/1981.

CORDEIRO, F. Panorama Mundial de Etanol: Brasil e EUA seguem dominando o mercado. Informa Economics FNP. 2011. disponível em: <<http://informaecon-fnp.com/noticia/3885>>. Acesso em: 06 junho 2015.

GRANATO, E. F. Geração de Energia Elétrica pela Biodigestão Anaeróbica da Vinhaça, Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Campus Bauru, Universidade Estadual Paulista, Abr/2003.

LAMO, P. Sistema Produtor de Gás Metano Através de Tratamento de Efluentes Industriais - METHAX/BIOPAQ - CODISTIL - Piracicaba, 1991.

LUCAS, J.Jr. Silva, F.M. Biogás: Produção e Utilização. FCAV-UNESP, Jaboticabal, 1990.

NOGUEIRA, L. H. Biodigestão: A Alternativa Energética. Editora Nobel, São Paulo, 1986.

PINTO, C. P. Tecnologia da Digestão Anaeróbica da Vinhaça e Desenvolvimento Sustentável, Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp, 1999.

ROSSETTO, A. J. Efeito da Aplicação Prolongada da Vinhaça nas Propriedades Químicas dos Solos com Cana-de-Açúcar. Araras, 1983.

SALERNO, A. G. Pré-estudo para Implantação da Biodigestão Anaeróbica da Vinhaça em Usina de Açúcar e Álcool. ZANINI S.A. Sertãozinho, 1991.

SOUZA, J. S. Bioeletricidade: O que falta para esta alternativa energética deslanchar. Revista Mercado Empresarial. Edição 41. Fenasucro 2012.

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