

WILLIAN LEONARDO VIEIRA COELHO

**ANÁLISE DA REUTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DO SETOR SUCROENERGÉTICO
DO ESTADO DE MATO GROSSO, PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA E
NUTRIÇÃO DO SOLO DE CULTIVO**

**TANGARÁ DA SERRA/MT-BRASIL
2016**

WILLIAN LEONARDO VIEIRA COELHO

**ANÁLISE DA REUTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DO SETOR SUCROENERGÉTICO
DO ESTADO DE MATO GROSSO, PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA E
NUTRIÇÃO DO SOLO DE CULTIVO**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Schwanz da Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Rivanildo Dallacort

**TANGARÁ DA SERRA/MT-BRASIL
2016**

WILLIAN LEONARDO VIEIRA COELHO

**ANÁLISE DA REUTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS
DO SETOR SUCROENERGÉTICO DO ESTADO DE MATO GROSSO, PARA
A PRODUÇÃO DE ENERGIA E NUTRIÇÃO DO SOLO DE CULTIVO**

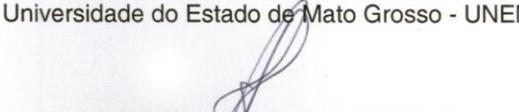
Dissertação apresentada à
Universidade do Estado de Mato
Grosso, como parte das exigências
do Programa de Pós-graduação
Stricto Sensu em Ambiente e
Sistemas de Produção Agrícola para
obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 25 de Fevereiro de 2016.

Banca Examinadora



Prof. Dr. Rivanildo Dallacort (orientador)
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT



Prof. Dr. Fernando Mendes Botelho (membro externo)
Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT



Prof. Dr. Raimundo Nonato Cunha de França (membro interno)
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT

**TANGARÁ DA SERRA/MT- BRASIL
2016**

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Jessé Coelho e Raquel da Silva Vieira Coelho pelo apoio incondicional, conselhos e sabedoria que sempre me impulsionaram a seguir em frente. A minha amada e linda esposa Danielle pelo carinho, atenção, amor e apoio a mim dedicados dia após dia. Aos meus irmãos Jéssica e Wallace pelo carinho. Ao meu orientador Prof. Dr. Fabrício que apesar das dificuldades enfrentadas não desistiu de nosso objetivo. A todos os amigos e professores do PPGASP, pois sem estes a caminhada seria ainda mais árdua.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, Senhor da minha vida a quem devo tudo que tenho e o que sou por me dar a oportunidade de concluir mais esta fase dos meus estudos. Em que por muitas das vezes pensei que não conseguiria e com suas poderosas mãos me sustentaste e aqui estou concluindo mais esta etapa da minha vida. Toda honra e toda glória seja dada a ti.

À minha família que apoiou e me incentivou incondicionalmente, esta conquista não é só minha, é nossa. Pai (Jessé), Mãe (Raquel), Irmãos (Jéssica e Wallace) muito obrigado por tudo, sem o apoio e a ajuda de vocês nada disso seria possível. Registro aqui meu agradecimento, em especial, à minha amada e linda esposa (Danielle), que sempre esteve ao meu lado me apoiando incondicionalmente, e que apesar da distância que estivemos nunca se queixou e sempre me incentivou a prosseguir. Meu Amor esta conquista é sua.

Ao professor Dr. Fabrício Schwanz da Silva, orientador e amigo, sempre colaborou com considerações imprescindíveis ao desenvolvimento deste trabalho, e sempre acreditou em mim desde os tempos de bolsa de IC (Iniciação Científica) na graduação. Obrigado por tudo Mestre.

Ao professor Dr. Rivanildo Dallacort, co-orientador por ter aceitado este desafio e conseqüentemente acreditado em meu trabalho.

A todos os demais professores do programa de mestrado que contribuíram grandemente com seus conhecimentos em aulas dinâmicas e muito proveitosas, e claro aos meus amigos de turma, companheiros para uma vida inteira.

Ao Sindicato das Indústrias de Álcool do Estado de Mato Grosso pela colaboração primordial para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Dr. Caetano pelo auxílio, troca de experiências, paciência e imensa contribuição que também foram fundamentais para alcançar os objetivos traçados. Obrigado por tudo professor.

E por fim agradecer a UNEMAT por oferecer a possibilidade de poder cursar e ser um Mestre em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola e a CAPES pelo apoio financeiro, sem o qual não seria possível a concretização deste sonho. Muito Obrigado a Todos.

EPÍGRAFE

Não rejeiteis, pois, a vossa confiança, que tem grande e avultado galardão. Porque necessitais de paciência para que, depois de haverdes feito a vontade de Deus, possais alcançar a promessa.

(Bíblia Sagrada-Hebreus Cap. 10 V. 36 e 37)

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
INTRODUÇÃO GERAL	10
REFERÊNCIAS	12
ARTIGO 1: ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DOS RESÍDUOS DO SETOR SUCROENERGÉTICO NO ESTADO DE MATO GROSSO EM DIFERENTES CENÁRIOS PRODUTIVOS	13
ARTIGO 2: ANÁLISE DA FERTILIZAÇÃO DO SOLO A PARTIR DOS RESÍDUOS DO SETOR SUCROENERGÉTICO NO ESTADO DE MATO GROSSO.....	27
CONCLUSÃO GERAL.....	39

RESUMO

O setor sucroenergético brasileiro tem como característica a elevada geração de resíduos, sendo eles: vinhaça, bagaço, torta de filtro e palha. Estes possuem alta demanda química de oxigênio (DQO) e elevada carga orgânica, portanto nocivos ao meio ambiente caso não sejam dispostos e tratados de maneira adequada. Deste modo, é de suma importância a utilização de metodologias que possam reduzir os impactos ambientais, garantindo uma maior conservação dos ecossistemas em que estas indústrias estão inseridas. O objetivo deste estudo foi realizar uma análise da reutilização dos resíduos do setor sucroenergético do estado de Mato Grosso, para a produção de energia elétrica e fertilização do solo de cultivo. A avaliação do potencial de geração de energia elétrica, a partir dos resíduos produzidos pelo setor no estado de Mato Grosso, a vinhaça e o bagaço, foi realizada de acordo com os dados produtivos das usinas. Inicialmente através da aplicação de metodologias baseadas na utilização da biodigestão anaeróbia da vinhaça, para determinação do potencial de geração de energia em três diferentes cenários produtivos, considerando 100, 75 e 50% de área, cenários estes criados devido ao resíduo ser oriundo apenas da produção de etanol fortemente influenciada pela demanda de mercado do produto. Posteriormente foi realizada a aplicação de equações que consideraram a utilização de caldeiras para a geração de energia obtida através da queima do bagaço, avaliando 100% de área, tendo em vista a obtenção deste resíduo independentemente do produto a ser fabricado. Para a análise da utilização dos resíduos vinhaça e torta de filtro na fertilização do solo de cultivo do setor no estado de Mato Grosso, primeiramente com o auxílio de um mapa de solos do Estado foi definido o tipo de solo predominante em áreas de cultivo de cana-de-açúcar. Após determinar o tipo de solo predominante, buscou-se na literatura normas que regulamentassem esta atividade no Estado. A posteriori contou-se com a colaboração do laboratório de análise de solos de uma das indústrias instaladas no Estado, onde foram concedidas informações referentes à CTC (Capacidade de troca catiônica) e concentração de K (Potássio). Em seguida realizou-se a aplicação de metodologias que ponderaram a concentração de K da vinhaça e do solo, a necessidade de K da cultura e o valor de CTC do solo, para a determinação do volume de aplicação ideal da vinhaça. A partir dos resultados observou-se o grande potencial do setor com geração a partir da vinhaça de 11,94 GWh/safra, 8,95 GWh/safra e 5,97 GWh/safra para 100, 75 e 50% de área respectivamente, e 1473,32 GWh/safra a partir do bagaço e 3440,62 GWh/safra a partir do bagaço e palha. Há predominância de latossolos em suas diferentes variações em locais de cultivo de cana-de-açúcar e o volume ideal de aplicação de vinhaça é de aproximadamente 392 m³/ha e torta de filtro variando de 15 a 100 t/ha. Ressalta-se que não há norma implementada que regule a utilização dos resíduos na fertilização da cultura no Estado.

Palavras-Chaves: Vinhaça. Bagaço. Torta de Filtro. Fertirrigação.

ABSTRACT

The Brazilian sugar-energy sector has been characterized by high waste generation, such as: vinasse, bagasse, filter cake and straw. These products have high chemical oxygen demand (COD) and high organic load, therefore, harmful to the environment if not disposed and treated properly. Thus, it is extremely important to use methodologies that might reduce environmental impacts, ensuring better conservation of ecosystems in which these industries are located. The aim of this study was to conduct an analysis of the reuse of waste from the sugar-energy industry in the state of Mato Grosso, for the production of electricity and fertilization of crop soil. The evaluation of the potential for electricity generation from waste produced by the sector in the state of Mato Grosso, vinasse and bagasse, was carried out according to the production data of the factories. Initially by the application of methodologies based on the use of anaerobic digestion of vinasse for determining the potential for power generation in three different production scenarios, considering 100, 75 and 50% of area, these scenarios were created due to the fact that waste has only been derived from the production of ethanol, strongly influenced by the market demand of the product. Afterwards, it was performed the application of equations that consider the use of boilers for the generation of power obtained by the bagasse burning, assessing 100% of area, with a view to obtaining this residue whatever the product to be manufactured. For the analysis of the use of waste vinasse and filter cake in crop soil fertilization sector in the state of Mato Grosso, firstly with the aid of a soil map of state, it was defined the predominant type of soil in sugarcane growing areas. After determining the predominant type of soil, we sought in the literature rules that regulate this activity in the state. A posteriori, we counted on the collaboration of the soil analysis laboratory of one of the industries established in the state, where we were given information regarding the CEC (cation exchange capacity) and concentration of K (Potassium). Then there was the application of methodologies which considered the concentration of K from the vinasse and the soil, requirements of K for the culture and CEC value of the soil, for determining the optimal application rate of vinasse. From the results we observed the great potential of the sector with generation from vinasse 11.94 GWh/crop, 8.95 GWh/crop and 5.97 GWh/crop to 100, 75 and 50% of area respectively, and 1473.32 GWh/crop from bagasse and 3440.62 GWh/crop from bagasse and straw. There is a predominance of latosol in its different variations in local sugarcane cultivation and the ideal volume of vinasse application is approximately 392 m³/ha and filter cake ranging from 15 to 100 t/ha. We highlight that there is no implemented regulation governing the use of waste in the crop fertilization in the state.

Keywords: Vinasse. Bagasse. Filter cake. Fertigation

INTRODUÇÃO GERAL

A cana-de-açúcar, no nível de produção ou industrial, é uma cultura de destaque no agronegócio nacional, devido a importância econômica de seus principais produtos – açúcar, etanol e energia elétrica. O Brasil é um dos maiores exportadores deste segmento de mercado, responsável por 45% de todo o açúcar comercializado no mundo. Por outro lado, a produção de etanol ocupa cerca de 1% da área agricultável do país com 57% da área plantada com cana, têm papel de liderança, porém juntamente com os Estados Unidos respondem por 70% da produção mundial desse combustível. Ressalta-se que o etanol produzido nos EUA é oriundo de uma matéria-prima diferente, no caso o milho, uma fonte amilácea (LERAYER, 2009).

É importante lembrar que além dos destaques nas questões econômicas, o setor também é responsável por grande parte da geração de energia renovável do país, contribuindo com o esforço mundial pelas questões ambientais.

Segundo a EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2013) o total consumido de energia no país se divide em 57,6% de energia não-renovável e 42,4% de energia renovável, que deste percentual a biomassa da cana-de-açúcar representa 15,4%, considerada superior a hidráulica com 13,8%.

Apesar de seu grande potencial de geração de energia renovável, um dos principais problemas enfrentados pelo setor sucroenergético (setor de produção de derivados do caldo de cana-de-açúcar e energia) é o elevado índice de geração de resíduos. De acordo com Piacente (2005) os principais resíduos da agroindústria sucroenergética são: o bagaço, a torta de filtro e a vinhaça. Além do enorme volume produzido, estes apresentam elevado potencial poluidor, causando impactos ao meio ambiente. Contudo, quando os resíduos sucroenergéticos são corretamente destinados, diminuem significativamente os custos de produção, melhoram a imagem da empresa, as perspectivas de negócios e diminuem os riscos de danos ambientais (NOGUEIRA; GARCIA, 2013).

Atualmente os resíduos do setor são reutilizados de duas maneiras, para gerar energia e fertilizar o solo de cultivo.

A energia pode ser gerada através da queima do bagaço ou pela digestão anaeróbia da vinhaça, de modo que as usinas possam suprir suas próprias demandas e ainda comercializar o excedente para as concessionárias de energia, obtendo assim uma nova fonte de renda (RODRIGUES et al., 2012). No entanto no

estado de Mato Grosso, o setor ainda não realiza o processo de digestão anaeróbia da vinhaça, a geração de energia é somente a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar.

Outra forma de utilização dos resíduos é a fertilização do solo, que busca utilizar de maneira racional os nutrientes dos resíduos, devido a elevada carga orgânica, proporcionando a fertilização dos solos agrícolas, diminuindo os custos de implantação da cultura e ao mesmo tempo impedindo o seu descarte direto e desordenado ao meio ambiente (COELHO; PEIXOTO, 1996).

De acordo com Ramos e Luchiari (2009) dependendo da forma como estes resíduos são utilizados na adubação podem ocasionar contaminação dos solos e águas subterrâneas. Assim é necessário um correto dimensionamento desta atividade para que haja benefícios e não prejuízos ambientais.

Diante do exposto, objetivou-se a reutilização dos resíduos do setor sucroenergético do estado de Mato Grosso para a produção de energia elétrica e fertilização do solo.

Para tanto, o estudo foi dividido em dois artigos, onde no primeiro objetivou-se a determinação do potencial de geração de energia elétrica no estado de Mato Grosso a partir da vinhaça, bagaço e palha, e no segundo objetivou-se a determinação do volume ideal de aplicação dos resíduos vinhaça e torta de filtro para a fertilização do solo.

REFERÊNCIAS

- COELHO, M. B; PEIXOTO, M. J. C. **Considerações Econômicas Sobre Aplicação da Vinhaça por Aspersão em Cana-de-Açúcar**. In: Congresso Nacional da STAB, Rio de Janeiro, 1996.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço energético nacional 2013**. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro: [s.n.], 2013. 253p
- LERAYER, A. **Guia da cana-de-açúcar**: Avanço científico beneficia o País. Conselho de Informações de Biotecnologia. São Paulo: [s.n.], 2009. 20p
- NOGUEIRA, M. A. F.; GARCIA, M. S. Gestão dos resíduos do setor industrial sucroenergético: estudo de caso de uma usina no município de Rio Brilhante, Mato Grosso do Sul. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas**, v.17, n.17, p.3275-3283, 2013.
- PIACENTE, F. J. **Agroindústria Canavieira e o Sistema de Gestão Ambiental: O Caso das Usinas Localizadas nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá**. 2005, 181p. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas SP, 2005.
- RAMOS, N. P.; LUCHIARI, A. **Impactos ecológicos**. Campinas: Agência Embrapa de Informação Tecnológica – AGEITEC, 2009.
- RODRIGUES et al. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica a partir da vinhaça. **Acta Iguazu**, v.1, n.2, p. 80-93, 2012.

ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DOS RESÍDUOS DO SETOR SUCROENERGÉTICO NO ESTADO DE MATO GROSSO EM DIFERENTES CENÁRIOS PRODUTIVOS

[Revista Brasileira de Energia]

RESUMO

O setor sucroenergético brasileiro está em constante crescimento em decorrência da elevada geração de resíduos, principalmente: vinhaça, bagaço, torta de filtro e palha. Estes são nocivos ao meio ambiente caso não tenham a destinação adequada. Portanto é de suma importância a utilização de metodologias para reduzir impactos ambientais, garantindo assim uma maior conservação dos ecossistemas em que estas indústrias estão inseridas. Neste estudo objetivou-se avaliar o potencial de geração de energia a partir de dois dos resíduos produzidos pelo setor sucroenergético. O estudo foi realizado com base nos dados produtivos de usinas do setor sucroenergético do estado de Mato Grosso, inicialmente através da aplicação de equações elaboradas com a utilização da biodigestão da vinhaça. A determinação do potencial de geração de energia foi realizado para diferentes cenários produtivos, considerando 100, 75 e 50% do volume de produção atual. Estes cenários foram criados em razão do resíduo ser oriundo apenas da produção de etanol e haverem plantas mistas com fabricação de etanol e açúcar, nestas a produção é fortemente influenciada pela demanda do produto. Posteriormente realizou-se aplicação de equações avaliando a utilização de caldeiras para a geração de energia obtida através da queima do bagaço, considerando 100% de área, tendo em vista a obtenção deste resíduo independentemente do produto fabricado. Baseado nos resultados houve grande potencial do setor com geração a partir da vinhaça de 11,94 GWh/safra, 8,95 GWh/safra e 5,97 GWh/safra para 100, 75 e 50% de área respectivamente, e 1473,32 GWh/safra a partir do bagaço e 3440,62 GWh/safra a partir do bagaço e palha.

Palavras-chave: Vinhaça, Bagaço, Biodigestão.

ABSTRACT

The Brazilian sugar-energy industry has been constantly growing due to high waste generation, mainly: vinasse, bagasse, filter cake and straw. These products are harmful to the environment if they do not have the appropriate destination. Therefore it is extremely important the use of methodologies to reduce environmental impacts, ensuring better conservation of ecosystems in which these industries are located. This study aimed to evaluate the potential of power generation from two of the waste produced by the sugar-energy sector. The study was conducted based on the production data from the sugar-energy industry's plants in the state of Mato Grosso, initially by applying equations developed using the biodigestion of vinasse. The determination of the potential of power generation was performed for different production scenarios, considering 100, 75 and 50% of the current production volume. These scenarios were created because the waste is derived only from ethanol production and they also had mixed plants with production of ethanol and sugar, in these plants the production is strongly influenced by the product demand. Afterwards,

we applied equations evaluating the use of boilers for the generation of energy obtained by burning bagasse, considering 100% of area, with a view to obtaining this residue independently of the manufactured product. Based on the results there was great potential of the sector with generation from vinasse 11.94 GWh/crop, 8.95 GWh/crop and 5.97 GWh/crop to 100, 75 and 50% of area respectively, and 1473.32 GWh/crop from bagasse and 3440.62 GWh/crop from bagasse and straw.

Keywords: Vinasse, Bagasse, Biodigestion.

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar introduzida no Brasil no período colonial e se transformou em uma das principais culturas da economia brasileira. Atualmente o país é o principal produtor de cana, o maior produtor mundial de açúcar, e juntamente com os Estados Unidos de etanol, conquistando cada vez mais o mercado externo com o uso do biocombustível como alternativa energética. Contudo, o etanol produzido no Brasil conta com projeções positivas para os próximos anos, resultantes principalmente do crescimento do consumo interno (MAPA, 2014).

Na safra 2015/16 a cultura da cana-de-açúcar manteve-se em expansão, segundo estimativas o Brasil obteve um crescimento de 3,2% da produção em relação à safra 2014/15. Este acréscimo não foi maior devido à pequena redução da área plantada e queda na produtividade por questões pluviométricas. A área cultivada com cana-de-açúcar, destinada à atividade sucroenergética na safra 2015/16, foi superior a 8,9 milhões de hectares (ha) distribuídos em todos os estados produtores conforme suas características. Este avanço diminuiu devido à intenção de plantio, com exceção dos estados das regiões norte e centro-oeste alguns apresentaram leve queda em relação à safra passada (CONAB, 2015).

De acordo com os dados da Secretária de Estado de Planejamento e Coordenação Geral de Mato Grosso (SEPLAN, 2013) a área cultivada com cana-de-açúcar no Estado apresenta um constante crescimento, como pode ser observado no histórico de 10 anos, iniciou com uma área de 176.746 hectares em 2002 e ampliou para 246.298 hectares de cana-de-açúcar colhida no ano de 2012, um total de 12.640.658 t e 17.108.709 t, respectivamente.

Devido a este crescimento o estado de Mato Grosso em nível de Brasil, de acordo com a CONAB (2015), ocupa a 8ª posição na produção de açúcar, a 6ª posição na produção de etanol anidro e etanol hidratado, indicando que o setor

possui uma boa produtividade se comparado aos outros 22 Estados produtores, visto que o mesmo também possui a 8ª maior área de cultivo com 230,3 mil hectares.

Então considerando os números deste setor pode-se prever que o mesmo enfrenta o problema da geração de resíduos oriundos de seus processos industriais, entre eles destaca-se principalmente o bagaço, a palha, a vinhaça e a torta de filtro.

O bagaço é obtido após a moagem dos colmos, o processo de extração do caldo da cana uma das primeiras etapas do processo de fabricação do álcool e açúcar (ALCARDE, 2007). Segundo Macedo et al. (2004) o índice de produção de bagaço pode chegar a 280 kg por tonelada de cana moída, o que evidencia o grande volume de resíduo produzido a partir deste processo industrial.

O bagaço obtido no processamento da cana-de-açúcar é fonte de energia renovável, uma alternativa de combustível para a geração de calor através de sua queima em caldeiras. Pode também ser utilizado para a fabricação de papelão, na construção civil, como fertilizante, para ração animal, além da geração de energia elétrica. Porém o uso mais difundido é a co-geração, em que o bagaço da cana é queimado para a produção de vapor que aciona geradores elétricos. Ao final deste processo há apenas cinzas como produto residual. Ou seja, em relação a outros usos, a co-geração do bagaço causa menos impacto ao meio ambiente, tem como principal agente poluidor as partículas resultantes da queima dispersas no ar (RIBEIRO; PESQUEIRO, 2010; FERNANDES; MIGUEL, 2011).

A torta de cana, mais conhecida como torta de filtro, é um resíduo oriundo da fabricação do açúcar após as borras resultantes da clarificação obterem a sacarose residual extraída. A torta de filtro é produzida na ordem de 2,5 a 3,5% da cana moída e apresenta elevada umidade, teor de matéria orgânica, fósforo, cálcio, magnésio e nitrogênio, podendo ser utilizada como alternativa para a fertilização do solo (SANTOS et al., 2011; AGEITEC, 2011).

Quanto à palha, estima-se que para cada tonelada de cana-de-açúcar colhida sejam formadas cerca de 200 kg de palha (SOUZA, 2012). Segundo Superbia e Paula (2011), a palha de cana-de-açúcar tem sido considerada um dos principais resíduos gerados, fazendo parte do grupo dos materiais lignocelulósicos. A palha é um resíduo obtido a partir da colheita da cana crua nas lavouras.

A vinhaça, de acordo com a CETESB (1999), é um líquido derivado da destilação do vinho para obtenção do etanol, resultante da fermentação do caldo da

cana-de-açúcar ou melaço. Esse resíduo pode ter como matéria-prima o caldo de cana, o melaço ou mistura de proporções ou de diluições destes.

De acordo com Andrade (2009) a vinhaça é gerada numa razão de 10,3 a 11,9 litros por cada litro de álcool produzido, apresenta temperatura elevada, pH ácido, corrosividade, alto teor de potássio, quantidades significativas de nitrogênio, fósforo, sulfatos e cloretos. Até meados da década de 70 a vinhaça era lançada em corpos d'água, o que gerava impactos negativos ao meio ambiente. No entanto atualmente existem resoluções e metodologias que auxiliam na reutilização e disposição deste resíduo no ambiente.

Um dos métodos de reutilização da vinhaça é o processo de co-geração de energia a partir da biodigestão anaeróbia. Segundo Gaspar (2003) a digestão anaeróbia consiste na “degradação biológica de substâncias orgânicas complexas na ausência de oxigênio livre. Neste tipo de processo, a matéria orgânica é degradada biologicamente por bactérias, tendo como um dos produtos finais o metano, que é fonte alternativa de energia”.

A Figura 1 ilustra um biodigestor do tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).

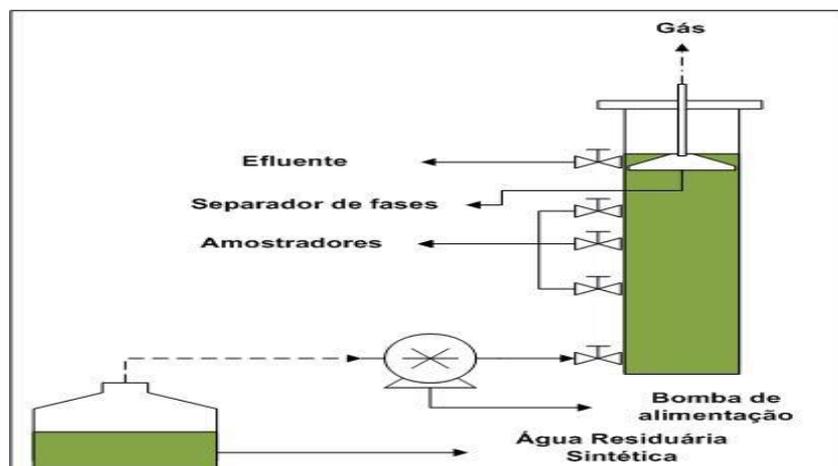


Figura 1- Representação esquemática de um biodigestor UASB.

Fonte: adaptado de MACHADO e FREIRE (2009).

O processo biodigestivo se realiza com o resíduo passando de forma ascendente em um leito ativado, contendo micro-organismos anaeróbios, que degradam o resíduo, diminuindo principalmente sua DBO - Demanda bioquímica de oxigênio e DQO - Demanda química de oxigênio, propiciando que o resíduo gere

menos impacto ao ser lançado em lavouras após a biodigestão (MACHADO; FREIRE 2009).

De acordo com a EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2013), em 2012 houve um acréscimo de 11,3 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (TEP)¹ no consumo nacional de energia, um aumento de 4,1%, atingindo o total de consumo no país de 283,6 milhões de TEP. É importante ressaltar que esta demanda foi 97% suprida por gás natural, petróleo e derivados. Outro fator a ser considerado foi a redução da produção de energia elétrica por fontes hidráulicas, reduzindo sua representatividade de 88,9% para 84,5%, o que é explicado pelo fato da menor oferta hídrica.

Ainda segundo a EPE (2013) do total consumido de energia no país 57,6% vêm de fontes não-renováveis e 42,4% de fontes renováveis, destes a biomassa da cana-de-açúcar corresponde a 15,4%, considerada superior a hidráulica com 13,8%.

As fontes energéticas renováveis são importantes e reduzem o consumo da queima de combustíveis fósseis, beneficiando a preservação do meio ambiente. O sol, o vento, os cursos de água e a biomassa, podem ser aproveitados para fins energéticos, principalmente para a produção de calor e eletricidade, através da utilização de tecnologias viáveis e rentáveis, contribuindo para a redução da fatura energética (MAGRO, 2012).

A biodigestão anaeróbica pode apresentar benefícios como: reduzir dos custos de tratamento; suportar elevadas concentrações de DBO; diminuir o odor característico e carga orgânica do efluente para sua aplicação no solo; neutralizar o pH; além disso possibilita ao efluente o manejo para aplicação por fertirrigação (GRANATO; SILVA, 2002). Logo é de suma importância a apresentação de novas metodologias e estudos do potencial para aumentar a eficiência da geração de energia de fontes renováveis, principalmente pelo fato de ser oriunda dos resíduos da indústria, portanto essenciais devido ao imenso volume e potenciais danos ao meio ambiente, se dispostos de forma desordenada.

Sendo assim, propôs-se realizar um estudo do potencial produtivo de energia a partir dos resíduos do setor sucroenergético do estado de Mato Grosso.

¹ Unidade de energia. A tep é utilizada na comparação do poder calorífero de diferentes formas de energia com o petróleo. Uma tep corresponde à energia que se pode obter a partir de uma tonelada de petróleo padrão (ANEEL, 2014).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado com base nos dados de produção do setor sucroenergético obtidos junto ao SINDALCOOL/MT- Sindicato das Indústrias de Alcool e Açúcar do Estado de Mato Grosso, localizado na cidade de Cuiabá-MT.

Foram utilizados os dados da safra 2015/16, considerando 100%, 75% e 50% das áreas de cultivo das indústrias em operação atualmente no Estado e destinadas à produção etanol. Estas porcentagens foram adotadas para uma melhor estimativa e por ser o preço de mercado o determinante do produto que será fabricado (açúcar ou etanol), o que é essencial levando em consideração que a vinhaça é oriunda apenas do processo de fabricação do etanol.

Foram levantadas as mesorregiões e biomas presentes no Estado e determinado à distribuição geográfica das indústrias do setor pelo Estado. A Figura 2 ilustra as mesorregiões presentes no estado de Mato Grosso.

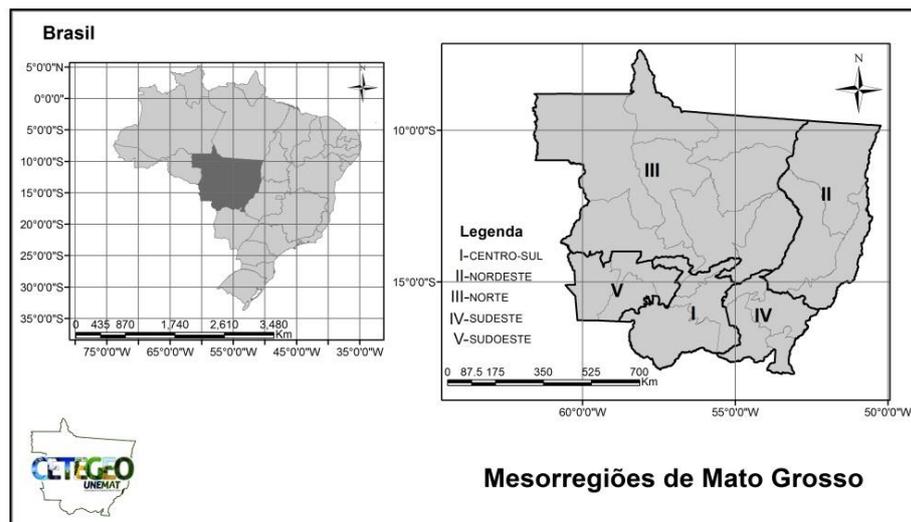


Figura 2 – Microrregiões do estado de Mato Grosso.

A partir dos resíduos industriais da cana-de-açúcar e de posse dos dados anteriores foram utilizadas equações para determinar o potencial de geração de energia do Estado.

A determinação do volume da vinhaça potencialmente gerada foi realizada com base na Equação 1.

$$\text{Vol}_{\text{vinh}} = P_{\text{Et}} \cdot \eta_{\text{vinh}} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

Vol_{vinh} : Volume de vinhaça gerado (L/mês);

P_{Et} : Produção média mensal de etanol no estado de Mato Grosso (L/mês);
 η_{Vinh} : Rendimento de vinhaça por litro de álcool (adimensional).

Para o cálculo da produção de energia elétrica a partir da vinhaça, utilizou-se o método que Lamo (1991) aplicou em seus estudos, o mesmo utilizado por Granato (2003), em que para determinar do potencial energético advindo da biodigestão anaeróbia considera-se a utilização de um reator do tipo UASB “Upflow Anaerobic Sludge Blanket”. E com a Equação 2 determinou-se a quantidade de carga orgânica.

$$CO = Vol_{Vinh} \cdot DQO \quad (Eq. 2)$$

Onde:

CO: Carga orgânica de vinhaça (kgDQO/dia);

Vol_{Vinh}: Volume de vinhaça gerado (L/dia);

DQO: Demanda química de oxigênio (mg/L).

A produção de biogás potencialmente gerada pela biodigestão anaeróbica da vinhaça, foi obtida a partir da Equação 3.

$$P_{Biogás} = CO \cdot \varepsilon \cdot F \quad (Eq. 3)$$

Onde:

$P_{Biogás}$: Produção de biogás (Nm³/dia);

CO: Carga orgânica da vinhaça (kgDQO/dia);

ε : Eficiência de remoção de DQO (adimensional);

F: Fator de conversão de biogás por DQO removida (Nm³/kg)

Para o valor de eficiência de remoção de DQO considerou-se 71,7%, proposto por Pompermayer e Paula (2003), e 0,45 Nm³/kg para valor de F, segundo Lamo (1991).

Após determinar a quantidade de biogás produzida, realizou-se o cálculo de conversão de biogás em energia, por meio da Equação 4.

$$E_{Biogás} = P_{Biogás} \cdot PCI_B \cdot \varepsilon \quad (Eq. 4)$$

Onde:

$E_{Biogás}$: Quantidade de energia produzida a partir do biogás (kcal/dia);

$P_{Biogás}$: Produção de biogás (Nm³/dia);

PCI_B : Poder calorífico inferior do biogás (kcal/Nm³).

ε : Eficiência da turbina a gás (adimensional).

Para o poder calorífico inferior utilizou-se o valor de 5.100 (kcal/Nm³) e uma eficiência da turbina de 35%, ambos valores propostos por Lamo (1991) e Granato (2003).

Para determinar o efetivo potencial de produção de energia elétrica advinda da utilização do bagaço e da palha foi utilizada a Equação 5.

$$EEGB = CAN \cdot E_{ton} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

EEGB: Energia elétrica gerada pelo bagaço (kWh)

CAN: Quantidade de cana processada (t)

E_{ton} : Energia elétrica produzida por tonelada (kWh/t)

Em que a energia elétrica produzida por tonelada foi determinada, segundo Jardim (2007) para cada tonelada de cana processada, considerando só o bagaço, pode-se gerar 85,6 kWh e utilizando a tecnologia da hidrólise, com bagaço, palha e pontas, este potencial sobe para 199,9 kWh.

Ressalta-se que todas as conversões de unidades utilizadas foram baseadas nas tabelas de unidades sugeridas pela ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No Quadro 1 estão apresentadas as unidades produtoras, os produtos fabricados e respectivas mesorregiões em que estão instaladas as plantas industriais.

Quadro 1 – Unidades produtoras de etanol e açúcar no estado de Mato Grosso, com seus respectivos produtos e distribuição geográfica

Unidades Produtoras	Produtos	Mesoregião	Bioma
4	Álcool e Açúcar	Sudoeste	Cerrado, Pantanal e Amazônia*
2	Álcool e Açúcar	Sudeste	Cerrado*
3	Álcool e Açúcar	Norte	Cerrado e Amazônia*

Fonte: SINDALCOOL-MT (2014); (*) IBGE (2015).

Os dados de produção das nove plantas industriais somadas, referentes a safra 2015/16, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados de Produção do setor sucroenergético do estado de Mato Grosso

Hectares plantados	Toneladas de cana processadas	Etanol total (m ³)	Açúcar (t)	Empregos diretos	Empregos indiretos
230.3 mil	17.211.273	1.248.678	337.112	14.561	58.000

Fonte: Sindalcool-MT (2015).

Observa-se na Tabela 1 que este setor é responsável pela geração de muitos empregos no Estado, além de ser imprescindível na contribuição para a balança comercial do mesmo devido ao seu alto volume de produção.

A partir das informações apresentadas na Tabela 1 foi elaborada a Tabela 2 para a apresentação dos dados de produtividade do estado de Mato Grosso, juntamente com os valores utilizados para geração de vinhaça por litro de álcool produzido, e DQO. Para posterior aplicação das equações propostas por Lamo (1991) e também utilizadas por Granato (2003).

Tabela 2 – Valores de produção de etanol em Mato Grosso, vinhaça e demanda química de oxigênio.

Fatores	Valores
Produção mensal de etanol (L/mês)	156.084.750
Produção de vinhaça por litro de álcool	11,9 ⁺
Demanda química de oxigênio (mg/L)	29000 ⁻

Fonte: (†) ANDRADE (2009); (°) SALOMON e MONROY (2007).

Após o levantamento de todos os dados junto aos órgãos competentes, utilizou-se as equações demonstradas a seguir para a determinação do potencial energético advindo da biodigestão anaeróbica da vinhaça.

$$\text{Vol}_{\text{vinh}} = 156.084.750 \cdot 11,9 = 1.857.408.525 \text{ (L/mês)} \quad (\text{Eq.1})$$

$$\text{CO} = 1.857.408,53 \text{ (m}^3\text{/mês)} \cdot 29000 \text{ (mg/L)} \quad (\text{Eq.2})$$

$$\text{CO} = 1.795.494,91 \text{ (kgDQO/dia)}$$

$$P_{\text{Biogás}} = 1.795.494,91 \text{ (kgDQO/dia)} \cdot 0,7117 \cdot 0,45 \text{ (Nm}^3\text{/kgDQO)} \quad (\text{Eq.3})$$

$$P_{\text{Biogás}} = 575.034,18 \text{ (Nm}^3\text{/dia)}$$

$$E_{\text{Biogás}} = 575.034,18 \text{ (Nm}^3\text{/dia)} \cdot 5100 \text{ (kcal/Nm}^3\text{)} \cdot 0,35 \quad (\text{Eq.4})$$

$$E_{\text{Biogás}} = 2.932.674,32 \cdot 10^3 \text{ (kcal/dia)} \cdot 0,35$$

$$E_{\text{Biogás}} = 49.739,38 \text{ (kWh/dia)}$$

Assim o potencial de geração de energia elétrica advinda da biodigestão da vinhaça por mês foi de 1.492.181 kWh/mês.

Como pode-se observar pelo resultado da Equação 1, houve uma geração de 1.857.408,53 (m³/mês) de vinhaça o que multiplicado por todos os meses da safra passada, conforme o Sindalcool (2015) de abril a novembro, oito meses, resultou em um total de aproximadamente 14.859.268,24 (m³/safra). Portanto com este volume de geração de resíduo é fundamental a sua reutilização principalmente pelo elevado teor poluidor, em razão da alta carga orgânica.

Quando a vinhaça passa por um tratamento de digestão anaeróbica pode haver uma remoção de DQO de 80% a 90%, além de obter mais um produto no mix da empresa, a energia elétrica. Estes são fatores que corroboram com a aplicação desta metodologia, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental (PROCKNOR, 2009).

Com um total de produção de energia advinda do biogás da vinhaça, na ordem de 1.492.181 kWh/mês, pode-se observar o grande potencial de geração de energia do setor. No entanto, o valor real de produção da safra considerando os oito meses de atividades ultrapassa os 11,9 GWh/ano, considerando que todo o resíduo gerado fosse destinado a produção de energia.

Cabe ressaltar que a vinhaça é oriunda apenas dos processos industriais da produção de etanol e atualmente no estado de Mato Grosso há quatro indústrias que fabricam além do etanol o açúcar cristal. No entanto, o que determina o produto a ser fabricado é a demanda e o preço de mercado dos mesmos, a indústria sempre prioriza o produto que mais remunera. Destarte, para a correta determinação deste potencial de geração de energia verificou-se este potencial por hectares processados e posteriormente a suposição de cenários produtivos. A Tabela 3 mostra o potencial de geração de energia elétrica considerando três diferentes cenários produtivos.

Tabela 3 - Potencial de geração de energia elétrica no estado de Mato Grosso considerando três diferentes cenários produtivos.

Área de produção (ha)	Energia advinda da vinhaça (kWh/ha)	Potencial de geração (GWh)
230.300 (100%)	51,83	11,94
172.725 (75%)	51,83	8,95
115.150 (50%)	51,83	5,97

De acordo com a tabela conforme ocorre à diminuição da destinação da cana-de-açúcar para a produção de etanol há uma conseqüente queda no potencial de produção de energia, decorrente da redução na geração da vinhaça.

O potencial de produção de energia, obtido somente através da queima do bagaço em caldeiras para geração de vapor, foi determinado de acordo com a Equação 5, e a Equação 6 considerando bagaço, palha e pontas, todas elaboradas a partir do proposto por Jardim (2007).

$$EEGB = 17.211.723 \cdot 85,6 \text{ kWh} \quad (\text{Eq.5})$$

$$EEGB = 1.473,32 \text{ GWh/safra}$$

$$EEGB = 17.211.723 \cdot 199,9 \text{ kWh} \quad (\text{Eq.6})$$

$$EEGB = 3.440,62 \text{ GWh/safra}$$

Considerando toda energia gerada pelo setor através da vinhaça com 100% de área, e bagaço que é oriundo de qualquer um dos produtos a serem produzidos sejam eles açúcar ou etanol, o setor alcança uma estimativa de produção de 1.485,25 GWh/safra o que evidencia o elevado potencial do mesmo, além dos inúmeros benefícios ambientais alcançados com a reutilização destes resíduos. Se considerarmos a utilização da palha e dos ponteiros este potencial é muito superior, cerca de 3.452,55 GWh/safra, no entanto esta palha no estado de Mato Grosso, um resíduo da colheita mecanizada, não é retirada do campo, logo todo este potencial é inutilizado para a produção de energia.

Estes valores ganham relevância, quando comparado ao potencial hidráulico de geração de energia das PCHs (Pequenas centrais hidrelétricas) do Estado, de acordo com Teixeira (2007) necessitam de áreas de alagamentos de até 3 Km² e possuem um potencial de produção de até 30 MW, suficientes para o abastecimento de aproximadamente de 100 mil habitantes.

Se realizar um comparativo do potencial de geração de energia com o relatório de consumo residencial médio mensal brasileiro, publicado pela EPE (2015) que no Brasil é de 167 kWh/mês, resulta em um consumo total médio de 2004 kWh/ano. Assim a geração de energia do setor sucroenergético, ponderando todos os resíduos, seria suficiente para manter aproximadamente 1.722.829 residências durante um ano, e se não considerar a palha e ponteiros altera para um total de 741.142 residências.

Este cenário ganha em relevância tendo em vista a crise que o setor elétrico brasileiro vivenciou em razão da dependência das hidrelétricas, que passam por

baixos índices de geração de energia em consequência da irregularidade das chuvas. Assim a energia produzida por esta biomassa surge como alternativa, principalmente pela safra da cana-de-açúcar ocorrer na seca, período em que os reservatórios das hidrelétricas estão normalmente mais baixos.

Portanto a utilização de novas metodologias de geração de energia é de suma importância para atender a crescente demanda, não prejudicar o bem estar da população e o crescimento do país.

4. CONCLUSÕES

O potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos da indústria sucroenergética é elevado, considerando a biodigestão anaeróbia da vinhaça resulta em um montante de 11,94 GWh/safra, e a queima do bagaço e palha em um montante de 3.440,62 GWh/safra, ou seja, a energia elétrica total gerada a partir dos resíduos é de aproximadamente 3452,55 GWh/safra.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA (AGEITEC). **Árvore do Conhecimento – Cana-de-Açúcar**. [s.n.]:Brasília, 2011.

ALCARDE, A. R. **Extração do caldo**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2007.

ANDRADE, J. **Construção de um Índice de Sustentabilidade Ambiental para a Agroindústria Paulista de Cana-de-Açúcar [ISAAC]**. 2009. 259 p. Dissertação (Mestrado Profissional), Escola de Economia de São Paulo, Faculdade Getúlio Vargas, São Paulo, 2009.

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica. Fatores de conversão. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2014. p.143-158.

CETESB. **Aplicação de Lodos de Sistema de Tratamento Biológico em Áreas Agrícolas: Critérios para Projeto e Operação**. São Paulo: [s.n.], 1999.

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira da Cana-de-açúcar, Segundo Levantamento**. Brasília, [s.n.] 2015. p. 1-38.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço energético nacional 2013**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia; EPE, 2013. 253p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica.** 2015. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/Resenha%20Mensal%20do%20Mercado%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20-%20Dezembro%202014.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2015.

FERNANDES, A. S.; MIGUEL, E. R. A Importância da Utilização do Bagaço de Cana-de-Açúcar na Geração de Energia em Termelétricas. IN: Encontro Científico de Educação Unisalesiano, 3., 2001, Lins. **Anais...Lins: Unisalesiano**, 2011.

GASPAR, P. M. F. **Pós-tratamento de Efluente de Reator UASB em Sistema de Lodos Ativado Visando a Remoção Biológica do Nitrogênio Associada à Remoção Físico-Química do Fósforo.** 2003. 115f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2003.

GRANATO, E. F. **Geração de Energia Através da Biodigestão Anaeróbica da Vinhaça.** 2003. 139f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2003.

GRANATO, E. F.; SILVA, C. S. **Geração de Energia Elétrica a Partir do Resíduo Vinhaça.** 2002. Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n4v2/074.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2015.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades do Mato Grosso.** 2015. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=510268&search=>>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

JARDIM, A. **Bioeletricidade a Energia que Vem da Nossa Terra.** Revista Brasileira de Energia, v.13, n.2, p.9-18, 2007.

LAMO, P. **Sistema Produtor de Gás Metano Através de Tratamento de Efluentes Industriais – METHAX/BIOPAQ – CODISTIL.** Piracicaba: [s.n.], 1991.

MACEDO, I. C; LEAL, M.R.L.V.; SILVA, J.E.A.R. **Balanço das Emissões de Gases na Produção e no Uso do Etanol no Brasil.** São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2004.

MACHADO, O. J.; FREIRE, F. B. Tratamento de Vinhaça em Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB). **Ciência & Tecnologia**, v.2, n. especial, set. 2009, p. 170.

MAGRO, C. A Importância das Energias Renováveis para a Sustentabilidade em Espaço Rural. In: **JORNADAS PEDAGÓGICAS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL DA ASPEA, 19., 2012.** Disponível em: <<http://www.aspea.org/19CeCarlosMagro.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

MAPA- Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Cana-de-açúcar.** Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso em: 20 set. 2014.

- POMPERMAYER, R. S.; PAULA JUNIOR, D. R. Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos.. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. **Proceedings online...** Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000200055&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 18 Abr. 2016.
- PROCKNOR, C. **Energia elétrica a partir da vinhaça.** ÚNICA- União da indústria de cana-de-açúcar. Disponível em:<<http://www.unica.com.br/convidados/25641156920337715081/energia-eletrica-a-partir-da-vinhaca/>>. Acesso em: 20 mar. 2015.
- RIBEIRO, H.; PESQUEIRO, C. Queimadas de Cana-de-açúcar: Avaliação de Efeitos na Qualidade do Ar e na Saúde Respiratória de Crianças. **Estudos avançados**, v.24 n. 68, 2010.
- SALOMON, K.R.; MONROY, E.E.S. Custo do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça e sua utilização. In: CONGRESSO IBERO AMERICANO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 8., 2007. **Anais...** Cusco [Peru], 2007.
- SANTOS, et al. Qualidade Tecnológica da Cana-de-Açúcar Sob Adubação com Torta de Filtro Enriquecida com Fosfato Solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.443–449, 2011.
- SEPLAN – Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. **Mato Grosso em números.** 2013. Disponível em:<<http://www.sistemas.seplan.mt.gov.br/mtemnumeros/2013/files/assets/common/downloads/MatoGrossoEmNumeros2013.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2014.
- SINDALCOOL-MT- Sindicato das Indústrias de Álcool do Estado de Mato Grosso. **Dados safra 2014/15.** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <sindalcool@sindalcool-mt.com.br> em 05 dez. 2014.
- SINDALCOOL-MT- Sindicato das Indústrias de álcool do estado de Mato Grosso. **Produção acumulada de açúcar e etanol combustível mensal – MT. 2015.** Disponível em:<http://www.sindalool-mt.com.br/mostra_arquivo.php?arquivo=16>. Acesso: em: 10 de dez. 2015.
- SOUZA, Z. J. **Bioeletricidade:** O que falta para esta alternativa energética deslançar. 2012. Disponível em:<<http://www.unica.com.br/colunas/470156692036979688/bioeletricidade-por-cento3A-0-que-falta-para-esta-alternativa/>>. Acesso em: 01 de jul. 2014.
- SUPERBIA, F. F.; PAULA, N.F. Utilização da Palha de Cana de Açúcar para Produção de Papel Artesanal. In: Semana de Tecnologia do Curso de Biocombustíveis, 4., 2011. **Anais...** Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, Ciência e Tecnologia: FATEC-JB, Jaboticabal, v.3, 2011.
- TEIXEIRA, R. **Potencial hídrico de Mato Grosso chama a atenção de empreendedores.** 2007. Disponível em:<<http://www.sedec.mt.gov.br/-/potencial-hidrico-de-mato-grosso-chama-a-atencao-de-empresarios>>. Acesso em: 22 de mar. 2016.

ANÁLISE DA FERTILIZAÇÃO DO SOLO A PARTIR DOS RESÍDUOS DO SETOR SUCROENERGÉTICO NO ESTADO DE MATO GROSSO

[Revista Pesquisa Agropecuária Tropical]

RESUMO

O setor sucroenergético brasileiro é um setor importante do agronegócio brasileiro, este em constantemente expansão, conseqüentemente obtém elevada geração de resíduos, principalmente: vinhaça, bagaço, torta de filtro e palha. E estes possuem uma alta demanda de DQO, nocivos ao meio ambiente se não dispostos de maneira adequada. É de suma importância a utilização de metodologias que possam reduzir estes impactos, garantindo assim uma conservação ambiental efetiva. O objetivo deste estudo foi analisar a utilização dos resíduos, vinhaça e torta de filtro na fertilização do solo para cultivo da cana-de-açúcar no estado de Mato Grosso. O estudo foi realizado com dados produtivos do setor, obtidos junto ao sindicato das indústrias do Estado. Com o auxílio de um mapa de solos determinou-se o tipo de solo com maior predominância em áreas de cultivo de cana-de-açúcar. Após determinar o solo predominante com a colaboração do laboratório de análise de solos de uma das indústrias, foram determinadas a CTC e concentração de K do solo. Em seguida realizou-se a aplicação de equações que consideraram a concentração de K da vinhaça e do solo, necessidade de K da cultura e valor de CTC do solo. A partir dos resultados obtidos observou-se que o volume ideal de aplicação de vinhaça foi de aproximadamente 392 m³/ha e de torta de filtro variando de 15 a 100 ton/ha. Também verificou-se não haver norma específica que regule a utilização destes resíduos na fertilização do solo no Estado.

PALAVRAS-CHAVE: Vinhaça; Torta de filtro; Capacidade de troca catiônica.

ABSTRACT

ANALYSIS OF SOIL FERTILIZATION FROM WASTE OF THE SUGAR-ENERGY SECTOR IN THE STATE OF MATO GROSSO

The Brazilian sugar-energy industry has been an important sector of Brazilian agribusiness, in constantly expanding, consequently it gets high waste generation, mainly: vinasse, bagasse, filter cake and straw. And these products have a high COD, harmful to the environment if not disposed properly. It is extremely important the use of methodologies that might reduce these impacts, ensuring an effective environmental conservation. The aim of this study was to analyze the use of waste, vinasse and filter cake in soil fertilization for cultivation of sugarcane in the state of Mato Grosso. The study was performed based on the productive data of the sector obtained from the union of industries in the state. With the aid of a soil map it was determined the type of soil with predominance in the areas of sugarcane cultivation. After determining the predominant soil with collaboration of the soil analysis laboratory in one of the industries, it was determined the CEC and the concentration of K from the soil. Then there was the application of equations that considered the K concentration of the vinasse and the soil, the necessity of K of the culture and value of soil CEC. From the results obtained it was observed that the ideal volume application of vinasse was approximately 392 m³/ha and filter cake ranging from 15

to 100 tons/ha. We also verified that there is no specific rule regulating the use of these wastes on the soil fertilization in the state.

KEY-WORDS: Vinasse; Filter Cake; Cation Exchange Capacity.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil no período colonial e transformou o país não somente no maior produtor em área de plantio, mas também num dos maiores produtores mundiais de açúcar e etanol, conquistando cada vez mais o mercado externo com o uso do biocombustível como alternativa energética (MAPA 2014).

A cultura da cana-de-açúcar se mantém em expansão desde 2008, na safra 15/16 obteve um acréscimo de 3,2% em relação à safra 14/15. Acréscimo referente ao aumento de área das regiões norte e centro-oeste. A área cultivada com cana-de-açúcar que foi colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2015/16 foi de 8,95 milhões hectares, distribuídos em todos estados produtores conforme suas características (CONAB 2015).

O setor sucroenergético, apesar de ser um grande produtor de fontes de energias renováveis, possui uma considerável geração de resíduos oriundos de seus processos industriais, destacando-se a vinhaça e a torta de filtro.

A torta de cana, mais conhecida como torta de filtro, é um resíduo gerado na fabricação do açúcar, após as borras resultantes da clarificação ter a sacarose residual extraída. A torta de filtro é produzida na ordem de 2,5 a 3,5% de cana moída e apresenta elevada umidade, teor de matéria orgânica, fósforo, cálcio, magnésio e nitrogênio, podendo ser utilizada como alternativa para complementar a fertilização da lavoura (Santos et al. 2011, AGEITEC 2011).

A vinhaça é caracterizada por ser um líquido de odor forte, coloração marrom-escuro, com baixo pH, alto teor de potássio e alta demanda química de oxigênio (DQO), ou seja, possui uma alta carga de matéria orgânica, um efluente altamente poluidor se disposto de qualquer forma no ambiente (Silva et al. 2014).

Até a década de 1970, as principais formas de destinações da vinhaça eram os mananciais de superfície e "áreas de sacrifício" (local próximo da usina onde a vinhaça era depositada sobre o solo). Ao longo de duas décadas, muitas formas de destinação foram objetos de estudos científicos e a partir de meados dos anos 80, a

fertirrigação se colocava como alternativa amplamente difundida. Apresentada como solução ao problema, destinar a vinhaça à lavoura em substituição de insumos químicos para a fertilização (Corazza 2006).

A fertirrigação com a vinhaça surge como uma aliada para o suprimento nutricional da cana-de-açúcar, principalmente dos macronutrientes NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio). Conforme Vitti et al. (2005) as demandas nutricionais da cultura durante uma safra estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1. Necessidade de macronutrientes em kg para a produção de 100 t de colmos.

Partes da Planta	N	P	K	Ca	Mg	S
Colmos	83	11	78	47	33	26
Folha	60	8	96	40	16	18
Total	143	19	174	87	49	44

Fonte: Vitti et al. (2005).

A fertirrigação destaca-se como um dos mais adequados destinos da vinhaça, se aplicada de forma correta no solo, respeitando as recomendações de dosagens e técnicas, traz diversos benefícios à lavoura de cana-de-açúcar, como: melhorias na fertilidade e estrutura do solo, teor de matéria orgânica e disponibilidade de água. Assim o solo comporta-se como agente redutor dos fatores que causam poluição sobre os recursos hídricos, diminuindo o potencial poluidor da vinhaça (Pereira et al. 2009).

No entanto em quase todos os estados brasileiros não existe uma norma regulamentadora que forneça informações precisas quanto as normas e técnicas adequadas para a utilização da vinhaça na fertirrigação, a não ser no estado de São Paulo onde a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) estabeleceu, em janeiro de 2005, uma norma específica para fertirrigação com vinhaça, nomeada P4.231 “Vinhaça - Critérios e Procedimentos para Aplicação no Solo Agrícola”. Esta norma orienta a aplicação, transporte e armazenamento da vinhaça, a mais detalhada e recomendada para seguir neste assunto.

A norma regulamentadora P4.231 limita o volume de aplicação de acordo com a concentração de K presente na vinhaça e no solo.

Uma das formas de baixar a carga orgânica e obter um resíduo de melhor qualidade é a digestão anaeróbia da vinhaça.

Segundo GASPAR (2003), a digestão anaeróbia consiste na “degradação biológica de substâncias orgânicas complexas na ausência de oxigênio livre. Onde neste tipo de processo a matéria orgânica é degradada biologicamente”.

Desta forma, a biodigestão anaeróbica da vinhaça apresenta alguns benefícios, tais como: redução dos custos de tratamento; suporta elevadas concentrações de DBO; reduz a carga orgânica da vinhaça para sua aplicação no solo, a diminuição do odor; gera a neutralização do ph e o efluente pode ser manejado para aplicação na fertirrigação (Granato & Silva 2002).

Pelo exposto, propôs-se estabelecer uma estimativa sobre o volume de resíduos (torta de filtro e vinhaça) gerados pelo setor sucroenergético de Mato Grosso e analisar o volume adequado de aplicação dos resíduos na fertilização do solo de cultivo de cana-de-açúcar.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado com base nos dados de produção e localização do setor sucroenergético obtidos junto ao SINDALCOOL/MT- Sindicato das Indústrias de Álcool e Açúcar do Estado de Mato Grosso, localizado na cidade de Cuiabá-MT.

Foram utilizados os dados da última safra “2015/16”, considerando 100% de área e estimativas de produção das nove indústrias em operação atualmente no Estado. Foram levantadas as mesorregiões e biomas presentes no Estado e determinada a distribuição geográfica das indústrias do setor pelo Estado. A Figura 1 ilustra as mesorregiões presentes no estado de Mato Grosso.

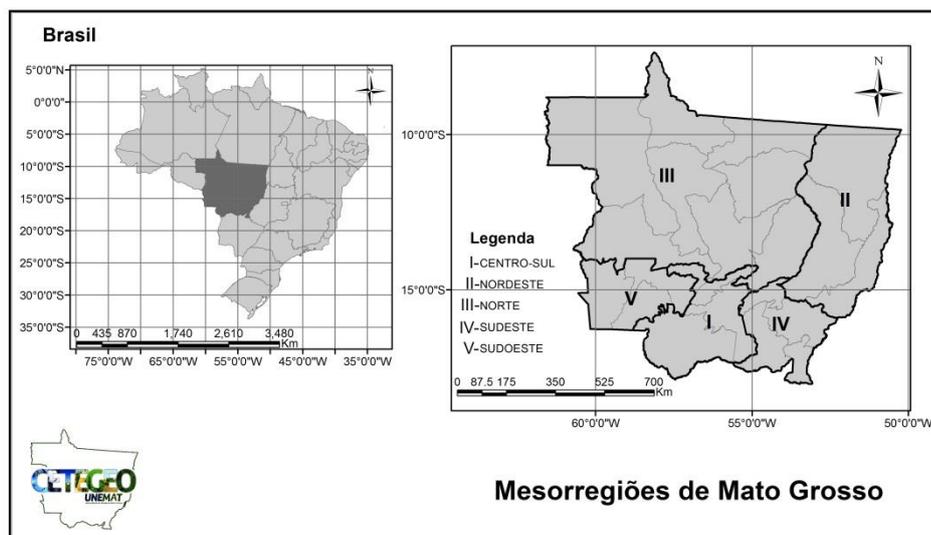


Figura 1. Mesorregiões do estado de Mato Grosso.

De posse destes dados foi utilizada a Equação 1 proposta por Lamo (1991), para determinar o volume de vinhaça gerado a partir dos processos industriais da fabricação do etanol no Estado.

$$\text{Vol}_{\text{Vinh}} = P_{\text{Et}} \cdot \eta_{\text{Vinh}} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

Vol_{Vinh} : Volume de vinhaça gerado (l/mês);

P_{Et} : Produção média mensal de etanol no estado de Mato Grosso (l/mês);

η_{Vinh} : Rendimento de vinhaça por litro de álcool (adm).

O teor médio de K_2O da vinhaça utilizado neste trabalho foi de $1,5 \text{ K}_2\text{O kg/m}^3$, uma média do resíduo de 3 safras analisadas por Silva et al. (2014).

Para determinação da quantidade de torta de filtro gerada foi em considerado o proposto por Santos et al. (2011), que sugere uma proporção de 2,5% de torta de filtro para cada tonelada de cana moída.

Baseado no mapa de solos do estado de Mato Grosso proposto por Wander (2006) foi diagnosticado os tipos de solo predominantes onde há a presença da cultura de cana-de-açúcar, definindo assim o tipo de solo com maior predominância de área. Posteriormente definiu-se o valor nutricional do mesmo obtido junto ao laboratório agrícola de uma das indústrias instaladas no Estado. A Figura 2 apresenta o mapa de solos do estado de Mato Grosso.

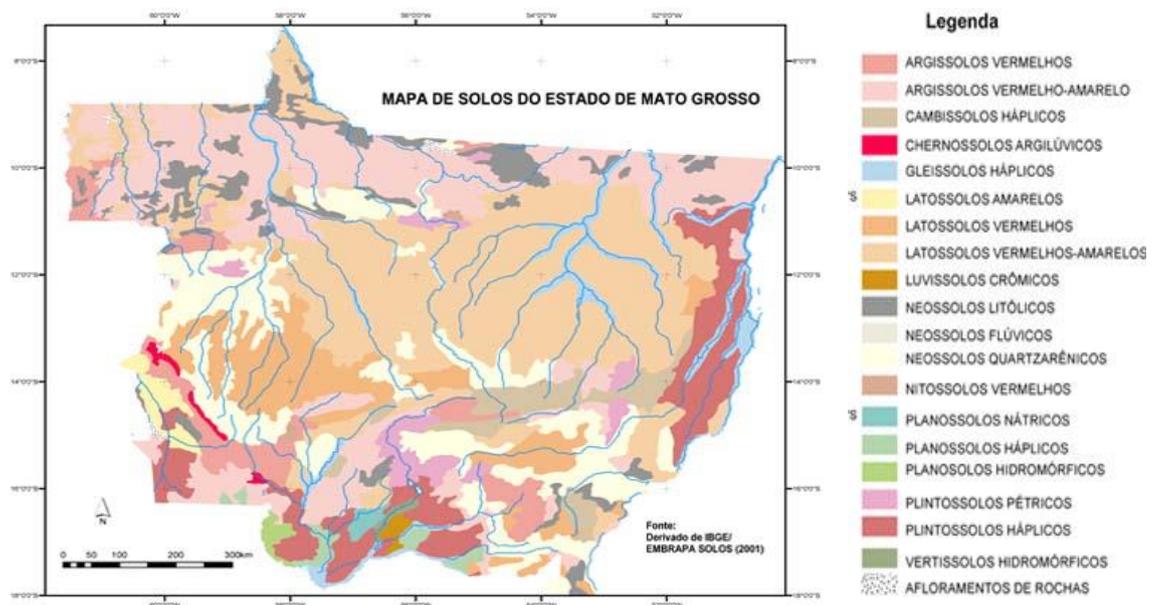


Figura 2. Mapa de solos do estado de Mato Grosso. Fonte: Wander (2006).

A dosagem máxima de vinhaça a ser aplicada em solos agrícolas, foi determinada de acordo com a Equação 2, proposta pela CETESB (2006):

$$\text{Vol}_{\text{aplicação}} = [(0,05 \cdot \text{CTC} - \text{KS}) \cdot 3744 + 185] / \text{KVI} \quad (\text{Eq.2})$$

Onde:

$\text{Vol}_{\text{aplicação}}$: Volume de aplicação de vinhaça (m^3/ha);

CTC: Capacidade de troca catiônica (cmolc/dm^3);

KS: Concentração de K no solo (cmolc/dm^3);

3744: Cte para transformação dos valores em Kg de K;

185: Massa em kg de K_2O extraída pela cultura por hectare;

KVI: Concentração de K_2O na Vinhaça (kg/m^3).

A equação utilizada foi a determinada pela CETESB por não haver nenhuma norma regulamentada no estado de Mato Grosso no que diz respeito à aplicação de vinhaça na fertirrigação, a norma P4.231 é adotada como referência para as demais regiões produtoras onde não há legislação específica.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Existem no estado de Mato Grosso nove indústrias em plena atividade produtiva, quatro indústrias com plantas mistas (produzindo etanol e açúcar) e cinco indústrias que produzem apenas etanol (SINDALCOOL-MT 2014).

Sendo que a região sudoeste é a que possui maior área de cultivo, e os maiores resultados no que diz respeito à produção de etanol, açúcar e resíduos. No Quadro 2 estão apresentadas as unidades produtoras, com os produtos fabricados pelas mesmas e respectiva mesoregião em que estão instaladas suas plantas industriais.

Quadro 2. Unidades produtoras de etanol e açúcar no estado de Mato Grosso, com seus respectivos produtos e distribuição geográfica.

Unidades Produtoras	Produtos	Mesoregião	Bioma
4	Álcool e Açúcar	Sudoeste	Cerrado, Pantanal e Amazônia*
2	Álcool e Açúcar	Sudeste	Cerrado*
3	Álcool e Açúcar	Norte	Cerrado e Amazônia*

Fonte: SINDALCOOL-MT (2014); (*) IBGE (2015).

Os dados de produção das áreas das nove plantas industriais referentes a safra 2015/16 são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Dados de produção do setor sucroenergético do estado de Mato Grosso referentes à safra 15/16

Hectares plantados	Toneladas de cana processadas	Etanol total (m³)	Açúcar (ton)	Empregos diretos	Empregos indiretos
230.300	17.211.723	1.248.678	337.112	14.561	58.000

Fonte: SINDALCOOL-MT (2015).

Observando a Tabela 1, fica evidente que este setor é responsável pela geração de muitos empregos no Estado, além de exercer importante contribuição para a balança comercial do mesmo devido ao seu alto volume de produção. A partir dos dados apresentados na Tabela 1, foi elaborada a Tabela 2 para verificar os dados de geração de vinhaça e torta de filtro resultantes da produção industrial do setor sucroenergético no Estado.

Tabela 2. Valores de produção de etanol, vinhaça e torta de filtro em MT.

Fatores	Valores
Produção mensal de etanol (L/mês)	156.084.750
Produção de vinhaça por litro de álcool	11,9 ⁺
Produção de torta de filtro (kg/safra)	430.293.075

Fonte: (+) Andrade (2009).

Após o levantamento de todos os dados junto aos órgãos competentes, utilizou-se da equação a seguir para a determinação do volume de vinhaça gerado mensalmente pelas indústrias mato-grossenses.

$$Vol_{\text{vinh}} = 156.084.750 \times 11,9 = 1.857.408.525 \text{ (L/mês)} \quad (\text{Eq.1})$$

Como demonstrado na Equação 1, há uma produção de 1.857.408,53 m³/mês de vinhaça, que multiplicado por todos os meses da safra passada (2015/16), de acordo com o SINDALCOOL-MT (2015) uma safra normal no Estado é de aproximadamente 8 meses, resulta em um total de aproximadamente 14.859.268,24 m³/safra. Portanto com este volume de resíduo é necessária uma adequada disposição no meio ambiente para a minimização dos impactos, principalmente pelo elevado potencial poluidor.

De acordo com Silva et al. (2007), as dosagens devem ser determinadas de acordo com as características de cada solo, fator que se não for observado pode

ocasionar na lixiviação de vários íons, causando a contaminação dos lençóis freáticos, sobretudo de nitrato e de potássio.

Analisando o mapa de solos do Estado (Figura 2) foi possível diagnosticar que há uma predominância de Latossolos no estado de Mato Grosso, principalmente nas áreas de cultivo da cana-de-açúcar. Estes solos, de acordo com Wander (2006), são aptos a agricultura, no entanto, tem como características elevada acidez e baixa fertilidade tornando-se necessária a correção desses déficits para um bom desempenho agrícola.

De posse dos dados de análise de latossolos obtidos junto ao laboratório agrícola de uma das indústrias do Estado foi possível diagnosticar a concentração de potássio (K) e a capacidade de troca catiônica (CTC), cerca de 36 mg/dm³ de K e 4 cmolc/ dm³ de CTC em média, o que se aproxima do obtido por Sena et al. (2007) analisando Latossolo Amarelo em diferentes tipos de uso, onde os valores variaram de 4,56 a 5,00 cmolc/ dm³.

Com a obtenção destes dados utilizou-se a Equação 2 para a determinação da quantidade ideal de vinhaça a ser aplicada baseada nas características do solo.

$$\text{Vol}_{\text{aplicação}} = [(0,05 \cdot 4 - 0,09231) \cdot 3744 + 185] / 1,5 \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\text{Vol}_{\text{aplicação}} = 392 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Nota-se com o resultado da Equação 2 que a quantidade ideal de aplicação de vinhaça, baseada nas características do solo, é de aproximadamente 392 m³/há. No que diz respeito aos Latossolos analisados, resultou este volume por serem solos bastante intemperizados, com pouca reserva de nutrientes e baixo valor de CTC, o que também foi relatado por Sousa & Lobato (2015) estudando latossolos.

Este volume de aplicação comparado ao montante de m³ de vinhaça gerados seriam suficientes para fertirrigar cerca de 16,4% de toda área de cana-de-açúcar de Mato Grosso ou 37.906 ha. No entanto, devido a problemas logísticos deste resíduo não é efetivada a fertirrigação de uma área desta abrangência, sendo utilizada somente em um raio próximo a planta industrial, o que ocasiona aplicações de lâminas superiores às adequadas ou em grandes volumes de vinhaça em tanques de armazenamento.

É importante lembrar que o volume de aplicação não é fixo e deve ser sempre atualizado de acordo com as condições nutricionais atuais do solo, leva-se em consideração que se aplicada de forma correta não acarretará impactos nocivos ao meio ambiente.

Destaca-se que a aplicação de vinhaça proporciona uma significativa melhora na fertilidade do solo, com conseqüente aumento na produtividade, conforme observado por Barros et al. (2010), e Silva et al. (2014), ambos analisando a aplicação de vinhaça e sua influência no solo e produtividade da cana-de-açúcar. Os referidos autores verificaram uma considerável melhoria na fertilidade do solo e produtividade da lavoura, Silva et al. (2014) constatou um aumento de aproximadamente 10,5 ton/ha, além da redução nos custos de produção com fertilizantes.

Resultados contrários foram verificados por Cruz et al. (2008), estudando por meio da eletrorresistividade a contaminação do solo por vinhaça em um assentamento próximo a um tanque de armazenamento desativado, com um volume de 19.300 m³, onde foi diagnosticado contaminantes até uma profundidade de 3,5 m. Portanto é evidente a importância de um correto dimensionamento da fertirrigação, ou seja, aplicação de um volume de vinhaça com concentrações maiores que a capacidade de retenção dos íons no solo tende a percolação e conseqüente contaminação.

Vale ressaltar que a CETESB (2006) não regulamenta somente a respeito da aplicação da vinhaça na lavoura, mas também acerca de locais de aplicação, do transporte e armazenamento. Algumas indústrias no Estado, devido à falta de uma legislação própria e obrigatória para a vinhaça, infringem alguns destes termos, como por exemplo: canais de transporte sem impermeabilização com geomembranas, áreas de aplicação próximas as áreas urbanas, aplicações sem restrições em terrenos com declividade e lâmina de aplicação superior a adequada.

Isto acontece pelo fato da normativa vigente no estado ser abrangente tratando de todos efluentes industriais, o roteiro SEMA.SUIMIS.0049-1 que informa sobre o tratamento e destinação final por meio de fertilização de águas residuárias de origem industrial, não leva em consideração as particularidades da composição química da vinhaça.

Portanto é evidente a necessidade de uma regulamentação desta atividade no Estado, divulgação de todos os benefícios desta metodologia e determinação dos parâmetros corretos de utilização, armazenamento e transporte, baseados nas características da região. Com a possibilidade de instituir a norma regulamentadora é possível realizar fiscalizações para que esta alternativa seja utilizada em favor do ambiente e da agricultura e não o contrário.

A torta de filtro apesar de seu grande volume de produção, por volta de 430.293 toneladas por safra, diferente da vinhaça não tem regulamentação específica em nenhum estado brasileiro no que tange a sua aplicação na lavoura, contém apenas algumas recomendações como a proposta por Rossetto & Santiago (2015), dosagens de 80 a 100 t/ha (torta úmida); em área total, de 15 a 35 t/ha (sulco) e 40 a 60 t/ha na entrelinha das soqueiras, substituindo parcial ou totalmente a adubação fosfatada.

Ponderando os valores máximos de cada uma destas recomendações, o montante total deste resíduo gerado pelas indústrias mato-grossenses seria suficiente para a fertilização de 4.302 ha (torta úmida), ou 12.294 ha (sulcos), 7.171 ha (entrelinhas das soqueiras). Melhorias nas condições nutricionais do solo e produtividade são alguns dos benefícios da utilização da torta de filtro, como o observado por Fravet et al. (2010) ao estudar a influência da aplicação deste resíduo na produtividade.

CONCLUSÕES

O setor no Estado possui uma produção de resíduos, com geração de aproximadamente 14.859.268,24 m³/safra de vinhaça e cerca de 430.293 toneladas de torta de filtro. Os volumes gerados por safra são suficientes para a fertirrigação de 37.906 ha e adubação de 4.302 ha (torta úmida), ou 12.294 ha (sulcos), ou 7.171 ha (entrelinhas das soqueiras).

Em Mato Grosso há muitos problemas relacionados ao transporte, armazenamento e volume de aplicação destes resíduos, causados principalmente pela falta de uma legislação específica que regulamente este tipo de atividade, assim é evidente a necessidade de elaboração desta norma para que a metodologia traga somente benefícios ao setor e ambiente e não o contrário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGEITEC – Agência Embrapa Informação Tecnológica. *Árvore do Conhecimento – Cana-de-Açúcar*. Brasília: Embrapa, 2011.

ANDRADE, J. *Construção de um Índice de Sustentabilidade Ambiental para a Agroindústria Paulista de Cana-de-Açúcar [ISAAC]*. 2009, 259f. Dissertação (Mestrado Profissional) - Escola de Economia de São Paulo, Faculdade Getúlio Vargas, São Paulo, 2009.

BARROS R.P. et al. Alteração em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.40, n.3, p.341-346, 2010.

CETESB P4.231. *Vinhaça: Critérios e Procedimentos para aplicação no solo agrícola*. São Paulo: CETESB, 2006.

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da Safra Brasileira da Cana-de-açúcar, Segundo Levantamento*. Brasília: [s.n.], 2015. p. 1-38.

CORAZZA, R. I. Impactos ambientais da vinhaça: Controvérsias científicas e lock-in na fertirrigação. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 44., 2006. *Anais...* Fortaleza, 2006.

CRUZ, J. I. et al. Detecção de contaminação de solo por vinhaça através de análise de dados de eletrorresistividade. *Rev. Bras. Geof.*, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 481-492, Dez. 2008.

FRAVET, P. R. F. et al. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 34, n. 3, p. 618-624, Junho 2010.

GASPAR, P.M.F. *Pós-tratamento de efluente de reator UASB em sistema de lodos ativados visando a remoção biológica do nitrogênio associada à remoção físico-química do fósforo*. 2003. 115f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

GRANATO, E.F.; SILVA, C.S. Geração de energia elétrica a partir do resíduo vinhaça. *Enciclopédia Energia Meio Rural*, v.2, n.4, 2002.

LAMO, P. *Sistema Produtor de Gás Metano Através de Tratamento de Efluentes Industriais – METHAX/BIOPAQ – CODISTIL*. Piracicaba: [s.n.], 1991.

SENA, W. L. et al. Atributos químicos de um latossolo amarelo, sob diferentes sistemas de uso, no nordeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. *Anais...* Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/408891/1/TRAB6821426.pdf>>. Acesso em: 20 de jul. 2015.

MAPA- Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. *Cana-de-açúcar*. 2014. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso em: 20 de set. 2014.

PEREIRA, M. C. et al. Fertirrigação com vinhaça, aspectos técnicos, ambientais e normativos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009. Campo Grande. *Anais...* Disponível em: <http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/3843f478fbd760b88d624e0484cba2d3_4398f3a40f27f36d38c7ed0f1773b01d.pdf>. Acesso em: 15 de maio 2015.

POMPERMAYER, R. S.; PAULA JUNIOR, D. R. Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos.. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. *Proceedings online...* Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000200055&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 18 Abr. 2016.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. *Adubação – Resíduos alternativos*. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html>. Acesso em: 10 de jun. 2015.

- WANDER, A. E. *Cultivo do arroz de terras altas no estado de Mato Grosso*. 2006. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozTerrasAltasMatoGrosso/>>. Acesso em: 28 de set. 2014.
- SANTOS, D. H. et al. Qualidade Tecnológica da Cana-de-Açúcar Sob Adubação com Torta de Filtro Enriquecida com Fosfato Solúvel. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.5, p.443–449, 2011.
- SILVA, A.P.M.; BONO, J.A.M.; PEREIRA, F.A.R. Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.1, p.38-43, 2014.
- SILVA, M.A.S.; GRIEBELER, N.P.; BORGES, L.C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.1, p.108-114, 2007.
- SINDALCOOL-MT- Sindicato das Indústrias de Álcool do estado de Mato Grosso. *Dados safra 2014/15*. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <sindalcool@sindalcool-mt.com.br> em 05 dez. 2014.
- SINDALCOOL-MT- Sindicato das Indústrias de álcool do estado de Mato Grosso. *Produção acumulada de açúcar e etanol combustível mensal – MT*. 2015. Disponível em: <http://www.sindalool-mt.com.br/mostra_arquivo.php?arquivo=16>. Acesso em: 10 de dez. 2015.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. *Latossolos*. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html>. Acesso em: 04 de maio de 2015.
- VITTI, G.C. et al. *Nutrição e Adubação da cana-de-açúcar*. 2005. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Nutricao+cana+GVitti_000fh3r3vzp02wyiv80rn0etnmc6zamd.pdf>. Acesso em: 22 de jun. 2014.

CONCLUSÃO GERAL

O potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos da indústria sucroenergética é elevado, considerando a biodigestão anaeróbica da vinhaça, queima do bagaço e palha, resultam em um montante de 3.452,55 GWh/ano, ou seja, a geração de energia do setor sucroenergético com todos os resíduos seria suficiente para manter aproximadamente 1.722.829 residências durante um ano. No entanto no estado de Mato Grosso observa-se a falta de utilização da vinhaça e da palha para a produção de energia, são empregadas somente na fertilização dos solos, fator que poderia maximizar a produção de energia elétrica e principalmente gerar um efluente de melhor qualidade para aplicação na lavoura.

A geração de resíduos do setor no estado de Mato Grosso é suficiente para a fertirrigação de 37.906 ha e adubação de 4.302 ha (torta úmida), ou 12.294 ha (sulcos), ou 7.171 ha (entrelinhas das soqueiras).

No entanto há muitos problemas relacionados ao transporte, armazenamento e volume de aplicação destes resíduos, causados principalmente pela falta de uma legislação específica que regulamente este tipo de atividade. Assim fica evidente a necessidade da elaboração desta norma para que a metodologia traga somente benefícios ao setor e ambiente e não o contrário.