

# REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

## Subprodutos Gerados na Produção de Bioetanol: Bagaço, Torta de Filtro, água de Lavagem e Palhagem<sup>1</sup>

Gabriela Bonassa<sup>2</sup>, Lara Talita Schneider<sup>2</sup>, Késia Damaris de Azevedo Frigo<sup>2</sup>, Armin Feiden<sup>3</sup>, Joel Gustavo Teleken<sup>4</sup>, Elisandro Pires Frigo<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Aceito para Publicação no 3º Trimestre de 2015

<sup>2</sup>Mestrandas em Engenharia de Energia na Agricultura na Universidade Estadual do Oeste do Paraná- UNIOESTE, gabrielabonassa@gmail.com, laarats@gmail.com, kesia.damaris@gmail.com

<sup>3</sup>Professor Dr. no Centro de Ciências Agrárias na Universidade Estadual do Oeste do Paraná- UNIOESTE, armin.feiden@gmail.com

<sup>4</sup> Professores Drs. do Departamento de Engenharia e Extas na Universidade Federal do Paraná- UFPR, joel.teleken@ufpr.br, epfrigo@gmail.com

### Resumo

A produção de cana-de-açúcar no Brasil é objetivada para atender as necessidades e metas ligadas à produção de etanol do mercado interno e externo. Os principais subprodutos gerados na indústria alcooleira são: Palhagem/Palhiça: Proveniente da matéria-prima; Água de lavagem: Usada excessivamente para o processamento industrial da cana-de-açúcar, a fim de retirar excessos de terra e infecções da cultura; Bagaço: Resíduo gerado na etapa de extração do caldo de cana; Vinhaça e torta de filtro: Resíduos de alto potencial poluidor, provenientes da destilação (para recuperação do álcool) e clarificação do mosto (para fermentação). O presente trabalho apresenta soluções que irão diminuir o impacto ambiental e gerar novos produtos a partir destes resíduos.

**Palavras- chave:** Etanol, Cana- de – açúcar, Resíduos.

### **Abstract**

The production of sugarcane in Brazil is aimed to meet the needs and goals linked to the production of ethanol at the inside and outside markets. The main byproducts generated in the alcohol industry are: Mulching / Palhiça: Proceeding from the feedstock; Waste water: Used excessively for industrial processing of sugarcane, to remove excess soil and crop infections; Bagasse: Waste generated in the extraction step of sugarcane juice; Vinasse and filter cake: Waste with high potential polluter, from the distillation (for alcohol recovery) and clarification of the must (for fermentation). This paper presents solutions that will reduce the environmental impact and generate new products from these waste.

**Key-words:** Ethanol, Sugarcane, Waste.

## **1. INTRODUÇÃO**

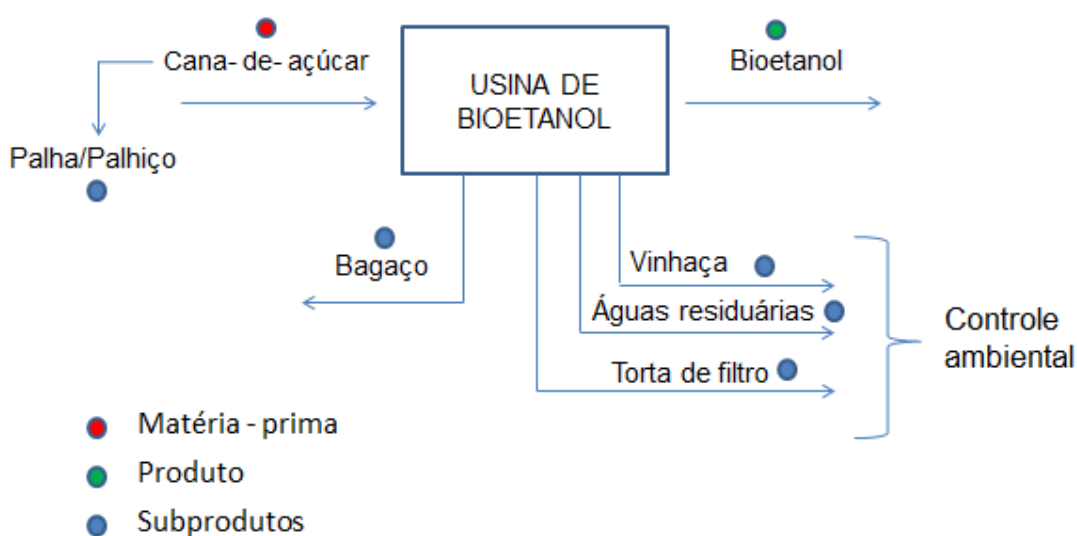
A indústria alcooleira brasileira surgiu a partir da destilação do mel residual, proveniente da fabricação de açúcar. Em 1931, por meio do Decreto do Governo Vargas estabeleceu-se a legislação da obrigatoriedade de 5% de álcool à gasolina. Com a crise da Europa, o Brasil passou a se tornar independente em sua produção etanólica com a criação do PROÁLCOOL em 1975, frente a forte dependência do petróleo importado, o Governo Geisel criou este programa com o objetivo de viabilizar o etanol como combustível carburante.

Desta época datam-se os primeiros automóveis a álcool fabricados em série e a intensificação da mistura de álcool anidro à gasolina. Da produção incipiente de 600 milhões de litros de álcool, o Brasil atingiu, em 2006, 16,9 bilhões de litros, tornando-se um dos países do mundo que começa a substituir, em larga escala, o consumo de gasolina por fonte renovável, juntamente com os Estados Unidos (ANDRADE; DINIZ, 2007).

Desde 1975, houve a expansão de áreas cultivadas com cana-de-açúcar e aumento de produção de etanol, crescendo principalmente na região de São Paulo, nos arredores de Ribeirão Preto e Piracicaba que estiveram em forte expansão até 1987 (KOHLHEPP, 2010).

A produção de cana-de-açúcar no Brasil é objetivada para atender as necessidades e metas ligadas à produção de etanol do mercado interno e externo. Entretanto, o aumento da produção e a busca pela melhoria da qualidade do produto final, agregados a tecnologia e o crescimento das plantações de cana-de-açúcar, causam uma enorme geração de resíduos, sendo os principais o bagaço e o vinhoto. Estes resíduos podem ser denominados como subprodutos, desde que sejam aproveitados de maneira eficiente (EIT, 2006).

Os subprodutos gerados durante o processo de produção do bioetanol são apresentados no fluxograma da Figura 1.



**Figura 1.** Fluxograma dos subprodutos gerados na produção de bioetanol.

Fonte: (Autores).

Conforme observa-se na Figura 1, os principais subprodutos gerados na indústria alcooleira são:

Palhagem/Palhiço: Proveniente da matéria-prima;

Água de lavagem: Usada excessivamente para o processamento industrial da cana-de-açúcar, a fim de retirar excessos de terra e infecções da cultura;

Bagaço: Resíduo gerado na etapa de extração do caldo de cana;

Vinhaça e torta de filtro: Resíduos de alto potencial poluidor, provenientes da destilação (para recuperação do álcool) e clarificação do mosto (para fermentação).

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1. BAGAÇO**

#### **2.2.1. Caracterização e geração**

O bagaço é um tipo de matéria fibrosa sólida, gerada na saída da moenda, na etapa de extração do caldo da cana-de-açúcar, para produção de etanol. Hugot (1977) definiu como “resíduo da cana moída”, representando de 24 a 40% da cana-de-açúcar, sua composição química é de basicamente carbono, hidrogênio, oxigênio e fibras. E sua composição física é pouco variável: constituído de água, fibra (celulose), alguns açúcares e impurezas proveniente da matéria-prima. Sendo que sua característica mais importante é a umidade, no ponto de vista energético, possuindo um padrão desta em torno de 48%.

Devido a sua característica energética, a forma mais empregada de descarte do resíduo, é na produção de energia elétrica, bem como também pode ser utilizado na fabricação de chapas de fibra para construções, fabricação de massa de papel (celulose), fabricação de matéria plástica, como solvente na indústria e ração animal (PAOLIELLO, 2006). A quantidade de 1 tonelada de cana moída, gera aproximadamente 250 kg de bagaço, que quando convertido em energia calórica isto equivale a 560.000 kcal, onde essa mesma quantidade de cana, produz aproximadamente 70 litros de etanol, o que proporciona 392.000 kcal de energia, Cortez com o levantamento destes dados concluiu, que a energia embutida no

bagaço, é maior do que a contida no etanol produzido (CORTEZ & MAGALHÃES, 1992).

### 2.1.2. Aproveitamento e impactos ambientais

A crise energética de 2001, ao qual houve as frequentes ameaças dos conhecidos eventos denominados como “apagões” e a política dos racionamentos do uso de energia, fez com que os pesquisadores, estudiosos e especialistas do setor energético, repensassem sobre o esgotamento da matriz energética nacional ao qual baseia-se em grande peso em hidrelétricas. Na Bolívia, a alternativa foi à construção de termoelétricas a gás natural e no Brasil, a utilização do excedente energético proveniente da queima de biomassa (bagaço), subproduto da produção de etanol de cana-de-açúcar.

Foi com a crise econômico-financeira do setor energético e a grande quantidade de biomassa gerada nas usinas que estas começaram a crescer na viabilização de investir em equipamentos de cogeração modernos e eficientes, a fim de sustentar sua própria energia e até mesmo comercialização, com a queima do bagaço. A queima do bagaço em caldeiras, fornece um rendimento térmico em torno de 85%. Grande partes das usinas, já utiliza desta técnica, queimando o bagaço na caldeira, onde este é convertido em vapor e sua energia elétrica pode alimentar toda a energia necessária na produção de etanol e inclusive, tornando-se auto-suficiente energeticamente e em alguns casos há ainda a venda do excedente, processo denominado de cogeração. Em casos assim, a dependência de energia comprada de distribuidoras é zero, ou de baixo custo, e esta cogeração de energia é de extrema importância, aliando a utilização de um resíduo com a geração energética para substituição dos recursos hidráulicos que estão restritos (PIACENTE, 2005).

O bagaço apesar do alto poder calorífico, é um material muito volumoso, onde segundo Hugot (1977), sua simples deposição ao ar livre, favorece a fermentação natural, apodrecimento e diminuição de seu rendimento energético, já a estocagem, é inviável devido ao grande volume utilizado, a menos que o bagaço seja comprimido, diminuindo seu volume, que é o caso da briquetagem.

Para fazer a briquetagem, o bagaço precisa ser seco, a umidade impede a ligação do mesmo. A redução da umidade é feita por meio de secagem, até seu valor ser inferior a 15% e posteriormente aplica-se pressão para compactação na forma de briquete, numa ordem de 350 a 1000 kg/cm<sup>2</sup>. O bagaço, na forma de briquetes, torna-se um combustível limpo e de fácil manutenção (PAOLIELLO, 2006).

A queima do bagaço gera alguns poluentes como materiais particulados (associados a cinzas e fuligens), monóxido e dióxido de carbono e óxidos de nitrogênio. Estes poluentes provocam efeitos indesejáveis em virtude de sua coloração escura, o que causa incomodo ao bem estar público, podendo causar danos respiratórios aos seres humanos. Para controle, geralmente emprega-se nas caldeiras, lavadores de gases. Quando com lavador de gases, a queima do bagaço em caldeira comparado a outras fontes de combustíveis fósseis, é mais limpo, gera menor impacto ambiental, libera em mínimas quantidades com bases de enxofre como SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> e óxido nitroso, uma vez que a queima do bagaço *in natura* ou na forma de briquete, é lenta e com baixa temperatura de chama. Com isso, o uso de bagaço como combustível em caldeiras e fornalhas, além de diminuir impactos ambientais, possui alto poder calorífico, substituindo lenha ou outros tipos de combustíveis, uma vez que este é um resíduo gerado da própria fabricação de etanol (PIACENTE, 2005).

O bagaço da cana, resíduo utilizado em grande escala pelas usinas como fonte de energia em caldeiras, também vem sendo muito estudando para o uso deste em ração animal e geração de bioetanol de segunda geração.

O Brasil apresenta características adequadas para exploração de caprinos, bovinos e ovinos, porém, em alguns locais onde a economia gira em torno destas criações, em algumas épocas do ano há problemas relacionados a produção de alimentos. A utilização de bagaço na alimentação destes animais, devido a esta falta alimentícia, é uma opção tanto para que não haja perdas produtivas, bem como dar um destino ao subproduto da produção de etanol, uma vez que a época de escassez alimentícia é na mesma época que a safra da cana-de-açúcar (SARMENTO *et al.*, 1999).

Segundo Pires *et al.*, (2004), o bagaço possui alto teor de parede celular, baixa densidade energética, e é pobre em proteínas e minerais, sendo então um volumoso de baixo valor nutritivo e *in natura* possui baixo potencial de uso na alimentação animal, no entanto, seu uso se torna eficiente, quando o valor nutritivo é

melhorado fisicamente ou quimicamente, sendo a amônia e a uréia, os componentes mais utilizados para estes fins.

Já como fonte de produção de bioetanol de segunda geração, o bagaço pode passar por um pré-tratamento e ser hidrolisado, liberando os açúcares fermentescíveis, contidos neste, para assim a produção de álcool.

O pré-tratamento torna-se necessário devido a forte ligação entre celulose, hemicelulose e lignina, este processo tem o objetivo de retirar a lignina e a hemicelulose, reduzir a cristalinidade da celulose e aumentar a porosidade. O pré-tratamento realiza a desorganização da estrutura da matéria celulósica, viabilizando a fermentação (MOISER *et al.*, 2005). A primeira fase do pré-tratamento, ou fase mecânica, é onde o bagaço é lavado, cortado, desfiado e moído, a fim de causar a destruição da sua estrutura celular e torná-la mais acessível aos posteriores tratamentos químicos, físicos ou biológicos (ROSA; GARCIA, 2009).

Um dos principais pré-tratamentos utilizados é a explosão de vapor, tido como um tratamento físico, descrito por Tengbord *et al.* (2001) como técnica que consiste na utilização de alta temperatura (160 à 240 °C) e alta pressão por até 20 minutos, em seguida retira-se a pressão, ocasionando uma mudança brusca na temperatura com finalidade de causar o rompimento nas ligações da lignina, hemicelulose e celulose. Sendo permitida a adição de SO<sub>2</sub> uma maior eficácia do tratamento. Outra forma de realizar a quebra da celulose é a termo-hidrólise, sendo uma técnica semelhante a explosão de vapor, sendo a diferença a utilização de água quente pressurizada no lugar do vapor, obtendo uma melhor solubilização. A grande desvantagem deste processo é o excessivo consumo de água (NETO, 2009).

Como exemplo de pré-tratamento químico têm-se o tratamento com ácidos concentrados ou diluídos. O ácido causa a solubilidade da hemicelulose e lignina em ordem para expor a celulose para conversão. O ácido sulfúrico alcança altas taxas reacionais e com isso atinge o objetivo de melhorar a hidrólise da celulose (SUN; CHENG, 2002).

O pré-tratamento biológico resulta em parcial deslignificação da lignocelulose usando microrganismos semelhantes a fungos e bactérias para degradar a lignina. Durante o processo estes microrganismos secretam enzimas extracelulares com peroxidases e lacases que ajudam a remover uma quantidade considerável de lignina da biomassa. O pré-tratamento biológico também pode ser usado combinado

com outros processos. Este pré-tratamento é bem menos severo não requerendo ácidos, altas temperaturas e nem grandes tempos (HAMELINCK *et al.*, 2005).

A mistura aquosa de solvente orgânico com catalisador ácido é denominado de pré-tratamento organosolvente, tendo a função de desestruturar a lignina e a hemicelulose. A reciclagem destes solventes, além de reduzir os custos, é necessária, pois os mesmos podem ser inibitórios ao crescimento dos microrganismos na posterior fermentação (HAMELINCK *et al.*, 2005).

Para a realização do processo de hidrólise são necessárias tecnologias complexas e multifásicas, com a utilização de rotas ácidas ou enzimáticas para separar o açúcar e remover a lignina (BNDS; CGEE, 2008). Apesar da complexidade das reações o fator ponderante no processo de hidrólise não é a cinética da reação, mas sim, a dificuldade em atingir a região de reação na molécula de celulose pelos catalisadores. A forte ligação da celulose com a hemicelulose e a lignina se caracteriza como um dos fatores que controlam esse acesso (RAO *et al.*, 2006). Outro fator, citado por Olivério e Hiltst (2005), é a presença de pontes de hidrogênio entre carboxilas de diferentes unidades de glicose na estrutura macromolecular da celulose.

Na hidrólise ácida, além da formação de compostos que inibem o processo fermentativo, também possui severas condições de manuseio (pH e temperatura) e alto custo de manutenção devido a corrosão (MARTIN *et al.*, 2007).

A hidrólise enzimática é uma reação heterogênea catalisada pelas celulasas, sendo distinguida por um substrato insolúvel (celulose) e um catalisador solúvel (enzimas). A completa hidrólise da celulose requer a ação combinada de múltiplas enzimas (celulasas) com diferentes especificidades ao substrato (KOVÁCS *et al.*, 2009). Tem a vantagem de não necessitar pH e temperaturas drásticas como pelo processo ácido. Um problema encontrado nesta rota é apresentado por Gan *et al.*, (2003), sendo a inibição das enzimas celulasas por celobiose e glicose, o padrão desta inibição vem sendo foco de muitos estudos para utilização do subproduto – bagaço da produção de etanol, para produção de etanol de segunda geração.

### 2.3. TORTA DE FILTRO



### 2.3.1. Caracterização e geração

A torta de filtro é um subproduto do processamento industrial da cana-de-açúcar, proveniente da filtração do caldo extraído no filtro rotativo (através de moenda). Sua composição varia, conforme a variedade da cana, tipo de solo, maturação da cana, processo de clarificação do caldo e outros (ALMEIDA, 1944). Por tonelada de cana moída, tem-se de 30 a 40 kg de torta de filtro a qual possui 85% da sua composição, constituído de cálcio, nitrogênio e potássio, variando a composição conforme a variedade de cana e sua maturação. A forma mais destinada para o uso deste subproduto, é na irrigação do solo destinado ao plantio da cana-de-açúcar ou lançamento direto na vala onde a muda será plantada (PIACENTE, 2005).

Os componentes orgânicos presentes na torta de filtro trazem alguns benefícios à cana-de-açúcar quando aplicada na plantação como fertilizante, os minerais ficam menos sujeitos a lixiviação, aumento da capacidade de troca catiônica dos solos onde a torta foi aplicada, capacidade de reter maiores quantidades de água e melhores condições físicas, químicas e microbiológicas para a planta (PENATTI; DONZELLI, 1991).

### 2.3.2. Tratamento, aproveitamento e impactos ambientais

Segundo a UDOP (2007), a utilização de torta de filtro em substituto a adubos químicos, traz benefícios financeiros, diminuindo em aproximadamente 60 dólares os gastos por hectare. Da mesma forma que a vinhaça, a torta de filtro ajuda na produtividade da cana-de-açúcar e diminuiu custos de produção, bem como dá destino ao subproduto, que durante algumas décadas era despejado em rios.

O fósforo é um dos nutrientes encontrados em menores quantidades nos solos brasileiros, sendo que a falta deste provoca distúrbios no metabolismo e desenvolvimento das plantas. Segundo Bittencourt *et al.*, (2006), uma alternativa

para aumentar a disponibilidade deste elemento em áreas cultivadas com cana, é a aplicação de fertilizantes fosfatados agregado a resíduos orgânicos, como a torta de filtro, principalmente em áreas que a cultura já vem sendo cultivada por longos tempos, onde esse tipo de fertilização ajuda a aumentar a produtividade. Penso *et al.*, (1982), também relatou sobre o aproveitamento da torta de filtro, em conjunto com o fósforo, uma vez que a torta ajuda a solubilizar este composto, disponibilizando-o mais rapidamente para a cultura.

Santos *et al.*, (2005) realizaram um estudo, a respeito da utilização de torta de filtro como substrato para a produção de mudas de hortaliças, onde observaram que o uso de torta de filtro apresentou melhores resultados em relação a outros dois tipos de substratos fertilizantes naturais, concluindo então que após passar por compostagem e sofrer a adição de alguns nutrientes, a torta de filtro torna-se um substrato potencial para a produção de mudas olerícolas.

A torta de filtro, apesar da alta concentração de nutrientes e redução em custos de adubação, segundo Ramalho e Amaral (2001), esta provoca um aumento na concentração dos teores de metais pesados em solos adubados com a torta, agregado ao alto risco de contaminação do lençol freático, uma vez que os metais não são absorvidos pela cana-de-açúcar, tendo tendência a percolarem. Além dos metais pesados, está possui uma elevada demanda bioquímica de oxigênio, fonte poluidora aos cursos d'água e solo também, quando estocada, a forma correta de armazenagem é depositá-la sobre lonas plásticas, para que não haja contato entre a torta e o solo (PIACENTE, 2005).

Não são encontrados leis ou estudos que determinem à taxa de aplicação recomendada assegurando que não haja contaminação do solo e das águas subterrâneas, devido a esta razão, existem vários estudos usando diferentes proporções de torta de filtro e agregada a outros produtos, buscando solucionar o problema da disposição final do resíduo e dos impactos que este pode causar.

## **2.4. ÁGUA DE LAVAGEM**

### **2.4.1. Caracterização e geração**

---

Uma das etapas que mais utiliza água em todo o setor industrial de uma usina sucroalcooleira é durante a lavagem da cana-de-açúcar, onde o reuso da água de lavagem, é uma das alternativas para este alto consumo.

O reuso da água de lavagem mostra-se como uma alternativa viável, pois a reutilização de águas residuárias oferece vantagens do ponto de vista da proteção do meio ambiente na medida em que proporciona a redução de uso de água e elimina boa parte da poluição de corpos hídricos.

Observando-se também uma recarga e melhoria da qualidade da água de aquíferos, sendo que águas contaminadas podem percolar no solo (MIRANDA, 1995). Vários fatores interferem na qualidade da água envolvida no circuito de lavagem de cana, iniciando pela colheita, com a forma pela qual a cana é retirada do canavial, e até mesmo a quantia de terra carregada junto a ela.

#### 2.4.2. Tratamento e impactos ambientais

No Brasil os processos de tratamento utilizados para as águas de lavagem de cana dependem do tipo de sistema empregado, que podem ser sistemas abertos (não havendo reuso da água), ou sistemas fechados (com reuso).

A CETESB (1981) cita que o método convencional de tratamento dos efluentes da lavagem da cana, no caso de recirculação de um sistema fechado ou semi-fechados, envolve as seguintes etapas: Remoção do material grosseiro (folha, toletes de cana, etc.) no *cush-cush*, este material pode ser recuperado, representando a recuperação de 1 ton/1.000 ton de cana processada; Remoção de partículas discretas com diâmetro maior que 0,05 mm, o que é feito nas caixas de decantação ou em decantadores circulares contínuos; Remoção de partículas menores que 0,05 mm (material em suspensão) e correção de pH. Para tanto pode ser introduzido um decantador circular secundário, tal metodologia para remoção de material coloidal ou não sedimentável, exige a aglomeração dessas partículas com auxílio de produtos químicos ou floculantes. Estudos realizados indicam que tal

adição de flocculantes, antes de um tratamento biológico possui altos gastos, onde caso o flocculante forme água de cal, também seria necessária a realização de uma correção de pH para evitar corrosão.

## **2.5. PALHAGEM**

### **2.5.1. Caracterização e geração**

No início produção de bioetanol, ainda na colheita da matéria-prima (cana-de-açúcar), gera-se um subproduto que é queimado, ou depositado sobre a cultura, a palhagem/palhiço.

A palha é composta por folhas verdes e parcialmente secas, pelos ponteiros da cana (formados pelos entrenós imaturos do topo) e folhas novas (enroladas ao redor do seu corpo). Estas partes são constituídas de celulose, hemicelulose, lignina e algumas matérias orgânicas (CORTEZ; LORA, 2006). A palha é responsável pela emissão dos poluentes atmosféricos (material particulado, hidrocarbonetos e monóxido de carbono, óxido nitroso), devido a sua queima em grande parte dos canaviais (PAOLIELLO, 2006).

Os conjuntos de resíduos da palhagem são denominados de palhiço, definido por Ripoli (2001) como material remanescente sobre a superfície do talhão após a colheita, principalmente a mecanizada, constituído de folhas verdes, palhas, ponteiros, colmos, raízes e particulados de terra.

A queima da palhagem da cana cresceu no início do Proálcool, para aumentar o desempenho do corte (manual, principalmente) e baratear a colheita, no entanto, essa prática diminui o potencial de matéria orgânica no solo e destrói os inimigos naturais das pragas da lavoura, causando perdas de até 30% de matéria bruta. Este material pode ser utilizado como o bagaço, em caldeiras, como fonte alternativa de energia ou depositada no solo. (GERMEK, 2005).

## 2.5.2. Aproveitamento e impactos ambientais

A cana-de-açúcar é uma cultura que sequestra bastante carbono atmosférico (através da fotossíntese), sendo que esta absorve mais carbono do que libera (WARWICK; ROCHA, 2006). Na queima da palhagem, todo esse carbono absorvido é liberado a atmosfera, sendo isso de grande impacto ao meio ambiente, pelo excesso de carbono liberado de uma só vez (LANGOWSKI, 2007). Além da grande quantidade de carbono liberado, outros gases prejudiciais também são formados e lançados, como o ozônio, gás extremamente poluente. O ozônio prejudica o crescimento de plantas e o desenvolvimento de seres vivos, quando emitido na atmosfera com a queima da palhagem da cana-de-açúcar (PIACENTE, 2005).

Esta queima traz impactos a fauna local, mamíferos e répteis perdem seus abrigos e alimentos. Muitos animais da fauna silvestre encontram abrigo e alimento em meio ao canavial, se adaptando e vivendo ali, com a queima, perdem seu abrigo e em muitos casos há a perda de espécies. Os canaviais servem de hábitat para cobras, ratos, lagartos, felinos, capivaras e pacas, aos quais poucos destes, fogem com as queimadas (LANGOWSKI, 2007).

Além de aspectos quanto aos gases liberados na atmosfera com a queima da palhagem, e os prejuízos a fauna e a flora, também há inconvenientes quanto à demanda de um maior consumo de água, devido à fuligem (a queimada da palhagem da cana, faz com que a matéria demande mais água em seu processamento), aumento de casos de problemas respiratórios a população, aumento de acidentes em rodovias (a queima da vegetação, dissipa fumaça até as rodovias), destrói matéria orgânica e microrganismos (solo fica exposto e propício a eventos de erosão e intemperismo, sendo que a palhagem servia de “proteção”), ambiente de trabalho adverso (tanto devido às fuligens e gases, como quanto às altas temperaturas), e por fim, também proporciona um balanço energético negativo (perda de energia pela queima da palhagem) (PAOLIELLO, 2006).

Buscando diminuir os problemas relacionados às queimadas, criou-se a lei 11.241, de 19/09/2002, fixando a proibição da queima da palhagem dos canaviais paulistas mecanizados, em 100% no estado de São Paulo, até o ano de 2021, buscando sanar tais impactos gerados pela queima.

Uma das formas mais utilizadas de aproveitamento da palhagem, quando a cultura de cana-de-açúcar não sofre queimada, é a conservação da mesma nos solos. A palha depositada no solo com a cultura da cana-de-açúcar protege o mesmo de eventos como erosão e intemperismo, contribuiu para a melhoria da quantidade de matéria orgânica do solo, e traz reflexos positivos sobre o balanço de nutrientes e para a microbiologia pedológica da planta semi-perene, sendo que o carbono que seria emitido na queima fica retido na palha. A palhagem, também diminui a incidência de energia luminosa sobre o solo, ao qual inibe/diminui a fotossíntese e a germinação de algumas plantas daninhas, aos quais irão disputar espaço com a cana, podendo minimizar sua qualidade bem como, interferir em seu desenvolvimento (Bertonie al., 1972 e ANDRADE; DINIZ, 2007).

Em um estudo, Mattos e Mattos (2004), fizeram uma estimativa de R\$14.196,60 por hectare de benefício, com a pausa na técnica de queimada, e uso da palhagem no solo, ao qual diminui o uso de herbicidas, aumenta a produtividade da cana, e traz economias de adubação nitrogenada.

Outra alternativa bastante viável para utilização da palha, é na combustão em caldeiras, para produção de energia térmica, sendo que aproximadamente 30% da energia da cana-de-açúcar, se concentra na palhagem. A utilização da técnica de queimada fornece um balanço energético negativo, pela perda de energia na queima, segundo Zancul (1998), essa perda, é alta, onde um hectare de palhão, possui o poder energético equivalente a 29 barris de petróleo e/ou 9.600 litros de álcool. A cada hectare, são geradas 18,2 toneladas de palhão, com aproximadamente 15% de umidade, e poder calorífico inferior de 3.100 kcal/kg, sendo que o potencial para uma tonelada de cana, que gera 280 kg de palha, é de 2.250 kcal/kg, toda esse poder calorífico, é desperdiçado quando a palhagem da cana-de-açúcar é queimada.

Além de ter a perda de energia na queima da palhagem, a efeitos também sobre a matéria-prima, perdendo em torno de 43,7 litros por hectare de caldo, o que significa 877.400 litros por safra para uma usina que emprega 20 mil hectares de canavial, o que demonstra que a palhagem não ser queimada no canavial, e sim depositada no solo ou queimada em caldeira para geração de energia, evita perdas em caldo de cana, ou seja, evita perdas em produto final – etanol. (Ripoliet al., 1998).

É viável, a grande parte das usinas a utilização da palhagem tanto na plantação, como na cogeração de energia. Com o aumento de produção de cana-de-açúcar, a expansão de áreas plantadas, e as novas tecnologias empregadas, fazem com que aumente o volume de palhagem disponível, sendo da legislação os canaviais mecanizados e sem queima, o potencial de geração de energia do setor alcooleiro, irá crescer. A UNICA (União da Indústria de cana-de-açúcar), assegura que o setor alcooleiro terá potência para injetar no mercado nacional, por média 11.500 MW de energia, na safra de 2015/2016 ao processar o aproximado de 829 milhões de toneladas de cana e já estima, 14.400 MW médios em 2020/2021. Estes valores correspondem a 15% da matriz energética nacional, no período. Ou seja, através da cogeração de energia com resíduos da cana de açúcar, é possível alimentar 15% da demanda nacional de energia. Atualmente, devido a um terço da energia presente nos resíduos da cana ser desperdiçado com a queima, a cogeração de energia ainda não é grande, porém, com a aplicação da lei que detém as queimadas, espera-se o crescimento deste setor energético (ROMÃO JÚNIOR, 2009).

A utilização de palhagem na produção de energia, além de ser uma fonte renovável, é benéfica ao meio ambiente, pois utiliza de resíduo que antes tinha fins prejudiciais. E o poder calorífico de sua utilização, pode aumentar ainda mais, gerando mais energia, quando queimada juntamente com o bagaço.

### **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Pode-se observar que os resíduos gerados na indústria alcooleira quando não tratados se tornam um impasse ambiental.

Mas quando se tem um tratamento adequado, tais resíduos podem ser transformados em novos produtos que irão diminuir os problemas ambientais e gerar economia e lucro para a indústria.

### **4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ALMEIDA, JR. As tortas da usinas de Açúcar. Brasil Açucareiro. Rio de Janeiro. 24 (2) :91-3. Agosto 1944.

- ANDRADE, F. M. J.; DINIZ, M. K. IMPACTOS AMBIENTAIS DA AGROINDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR: SUBSÍDIOS PARA A GESTÃO. 2007. 131 f. Monografia (Pós-graduação) – Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, 2007.
- BERTONI, J. et al. Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo no Instituto Agronômico. Campinas, 1972.
- BITTENCOURT, V. C. et al. Torta de filtro enriquecida. Idea News, Ribeirão Preto, v. 6, n. 63, p. 2-6, 2006.
- BNDS, CGEE. Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social; Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (Coord.). Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.
- CORTEZ, L. & MAGALHÃES, P.(1992). Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. IN: Revista Brasileira de Energia, Vol.2, n. 2, 1992.
- CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. S.; Biomassa para energia, Editora da Unicamp, Campinas – SP, Brasil, 2006
- Cunha, R. C. A.; Costa, A. C. S.; MasetFilho, B.; Casarini, D. C. P. Effects of irrigation with vinasse and dynamics of its constituents in the soil: I – physical and chemical aspects. Water Science Technology, v.19, n.8, p.155-165, 1981.
- EIT. Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011 / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Produção e Agroenergia. 2. ed. rev. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110 p.
- FONTES, L.E.F. Fertirrigação da cana-de-açúcar com vinhaça. Seminário apresentado no curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa: U.F.V., 1987. 18p.



- GAN, Q., ALLEN, S. J., TAYLOR, G. Kinetic dynamics in heterogeneous enzymatic hydrolysis of cellulose: an overview, an experimental study and mathematical modeling. *Process Biochemistry*, v. 38, p.1003-1018, 2003.
  
- GERMEK, H. A. Análise de Decisão sobre o Aproveitamento do Palhiço da Cana-de-Açúcar, Posto na Unidade Industrial, para Fins de Cogeração – Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu – Botucatu/SP, 2005
  
- GLÓRIA, N.A.; MAGRO, J.A. Utilização agrícola de resíduos da usina de açúcar e destilaria na Usina da Pedra. In: Seminário Copersucar da agroindústria açucareira, 4., Águas de Lindóia, 1976. Anais. São Paulo, Copersucar, 1977. p. 163-180.
  
- HABERT, A.C.; BORGES, C.P. & NÓBREGA, R. (1998) – Processos de separação com membranas, Programa de Engenharia Química, COPPE/UFRJ.
  
- HAMELINCK, C. N. et al. Etanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short, middle and long term. *Biomass and Bioenergy*, v. 28, p. 384-410, 2005. Disponível em: <[http://www.star-info/pdf/bdocs/transport/Bioethanol\\_Biomass.pdf](http://www.star-info/pdf/bdocs/transport/Bioethanol_Biomass.pdf)>. Acesso em: 11 de jul. 2013.
  
- HASSUDA, S. (1989) Impactos da infiltração da vinhaça de cana no Aquífero Bauru. São Paulo, Instituto de Geociência-USP. Dissertação de Mestrado, 1989.
  
- HUGOT, E. Manual da Engenharia Açucareira, Edição Revista e Atualizada, Ed. Mestre Jou, São Paulo, 2 Vols., 1977
  
- KIEHL, E.J. (1985) – Fertilizantes orgânicos. São Paulo: Agronômica Ceres.
  
- KOHLHEPP, Gerd. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. *Estud. av.*, São Paulo, v. 24, n. 68, 2010 .

- KOVÁCS, K.; SZAKACS, G.; ZACCHI, G. Comparative enzymatic hydrolysis of pretreated spruce by supernatants, whole fermentation broths and washed mycelia of *Trichoderma reesei* and *Trichoderma atroviride*. *Bioresour.Technol.*, v. 100, p. 1350-1357, 2009.
  
- LANGOWSKI, E. Queima da cana: uma prática usada e abusada. Cianorte, maio de 2007. Disponível em: <<http://www.apromac.org.br/QUEIMA%20DA%20CANA.pdf>>. Acesso em: 10/07/2013.
  
- LUDOVICE, M. T. (1996). Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático. FEC-UNICAMP, Campinas, Dissertação de Mestrado.
  
- Lyra, M. R. C. C.; Rolim, M. M.; Silva, J. A. A. Toposeqüência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p.525-532, 2003.
  
- MARTIN, C. et al. A study of three strategies for improving the fermentability of sugarcane bagasse hydrolysates for fuel ethanol production. *Internacional sugar Journal*, Glamorgan, v. 109, n. 1267, p 33-39, 2007.
  
- MATTOS, K. M. da C.; MATTOS, A. Valoração econômica do Meio ambiente – uma abordagem teórica e prática. São Carlos: Rima, Fapesp, p. 148, 2004.
  
- MIRANDA, T.L. Reuso de efluentes domésticos na irrigação de alface (*Lactucasativa L.*), Porto Alegre: UFRGS, 1995, 111p. Dissertação Mestrado.
  
- MOSIER, N. et al. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresour.Technol.*, v. 96, p. 673-686, 2005.

- MUSSATI, M.; THOMPSON, C., FLUENTES, M., AGUIRRE, P.; SCENNA, N. (2005) Characteristics of a methanogenic biofilm on sand particles in a fluidized bed reactor. *Latin American Applied Research* 35:265 – 272.
  
- NETO, B. O. Integração das principais tecnologias de obtenção de etanol através do processamento de celulose (2º geração) nas atuais usinas de processamento de cana-de-açúcar (1º geração). Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. 137p.
  
- OLIVEIRA, P. A. V. de; Higashimura, M. M., Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos, Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006.
  
- OLIVÉRIO, J. L.; SOARES, P. A. Produção de álcool a partir do bagaço: o processo DHR. Disponível em: <<http://www.iea.usp.br/iea/online/midiateca/etanolcelulosicosoares.pdf>> Acesso em: 11 jul. 2013.
  
- ORLANDO FILHO, J.; SOUSA, I.C. & ZAMBELLO JR, E. (1980) – Aplicação de vinhaça em soqueiras de cana-de-açúcar: economicidade do sistema caminhões-tanque, Boletim técnico PLANALSUCAR, Piracicaba, 2(5).
  
- PAOLIELLO, J. M. M. **ASPECTOS AMBIENTAIS E POTENCIAL ENERGÉTICO NO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA.** 2006. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru - Sp, 2006.
  
- PARANHOS, S. B. (Coord.). Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987.
  
- PENATTI, C.P; DONZELLI, J.L. Uso da Torta de Filtro em cana-de-Açúcar. Piracicaba, 7 pg. 1991.

- PENSO, J. S. A.; BRAGA, J. M.; THIÉBAUT, J. T. L. Avaliação da solubilidade de fosfato de patos: III – mistura com torta de filtro e vinhaça. Revista Agronômica Ceres, Viçosa, v. 29, n. 165, p. 516-525, 1982.

- PEREIRA, José P. et al. Efeito da adição de diferentes dosagens de vinhaça a um latossolo vermelho-amarelo distrófico na germinação e vigor de sementes de milho. Revista Brasileira de Sementes. Londrina, PR. 1992. v. 14. 2. ed. p. 147-150. Disponível em: <[www.abrates.org.br/revista/artigos/1992/v14n2/artigo09.pdf](http://www.abrates.org.br/revista/artigos/1992/v14n2/artigo09.pdf)>. Acesso em 11 jul. 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 JUNDIAÍ.** 2005. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual De Campinas Instituto De Economia, Campinas, São Paulo, 2005.

- PIRES, A.J.V.; GARCIA, R.; VALADARES FILHO, S.C.; PEREIRA, O.G.; CECON, P.R.; SILVA, F.F.; SILVA, P.A.; ITAVO, L.C.V. Degradabilidade do bagaço de cana-de-açúcar tratado com amônia anidra e, ou, sulfeto de sódio. Revista Brasileira de Zootecnia, v.33, p.1071-1077, 2004.

- RAJESHWARI, K.V.; BALAKRISHNAN, M.; KANSAL, A; KUSUM LATA; KISHORE, V.V.N. (2000) State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment. Pergamon, v.4, p. 135 -156.

- RAMALHO, J. F.; AMARAL Sobrinho, N. M. Metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso de resíduos agroindustriais. Revista Floresta Ambiente, V. 8, Nº 1 jan./dez. de 2001.

- RAMOS, N. P. et al. Efeito da vinhaça no desenvolvimento inicial e girassol, mamona e amendoim em casa de vegetação. Bragantia, Campinas, v. 67, n. 3, p. 685-692, 2008.

- RAO, R. S. et al. Xylitol production from corn fiber and sugarcane bagasse hydrolysates by *Candida tropicalis*. *Bioresour.Technol.*, v. 97, p. 1974- 1978, 2006.
- RIBEIRO, A. C.; SENGIK, E. Efeitos da aplicação de vinhaça nas propriedades físicas e químicas de duas amostras de Latossolos. *Revista Ceres*, Campinas, v.30, n.1, p.25-31, 1983.
- RIPOLI, M. L. C.; RIPOLI, T. C. C.; DeLEÓN, M. J.; MIALHE, L. G. Perdas de Açúcar Redutores Totales como Consecuencia de La Queima em Pré-Cosecha de Cañaverales. In BENEZ, S. H. B.; JORAJURIA, D. (Ed.) *Ingenieria Rural y Mecanización Agrária em el Âmbito Latinoamericano*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 1998.
- RIPOLI, T. C. C. Now it is the turn of palhiço. *Idea News*. November, year 1 n° 3, Ribeirão Preto/SP, 2001.
- ROMÃO JÚNIOR, R. A. ANÁLISE DA VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DA PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA COGERAÇÃO DE ENERGIA NUMA USINA SUCROALCOOLEIRA. 2009. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Ciências Térmicas, Ilha Solteira, SP, 2009.
- ROSA, S. S. da; GARCIA, J. L. F. O etanol de segunda geração: limites e oportunidades. *Revista do BNDES*, n. 32, p. 119-150, dez. 2009.
- SANTOS, A. C. P. ; BALDOTTO, P. V.; MARQUES, P. A. A.; DOMINGUES, W.L.; PEREIRA, H.L. 2005. Utilização de torta de filtro como substrato para produção de mudas de hortaliças. *ColloquiumAgrariae* 1: 1-5.
- SANTOS, G.A; ROSSIELLO, R.P.; FERNANDES, M.S. Efeitos da vinhaça sobre o pH do solo, a germinação e acúmulo de potássio em milho. *Pesq. Agropec. Bras.*, 16:489-493, jul./ago. 1981.

- SARMENTO, P. et al. Tratamento do Bagaço de Cana-de-açúcar com Uréia. Rev. bas. zotec., v.28, n.6, p.1203- 1208, 1999.
  
- SENA, M.E.R (1998) – Aproveitamento do Vinhoto como fertilizante e na geração de biogás através da combinação do processos com membranas e fermentação anaeróbica. Projeto submetido á FAPERJ – E26/171.524/98-RJ.
  
- SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso da 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.
  
- SIMABUCO, S. M. (1993). Emprego da fluorescência de raios x por dispersão de energia no estudo da dinâmica da vinhaça no solo. Instituto de Pesquisas em Energia Nuclear-IPEN, São Paulo, Tese de Doutorado, 1993.
  
- SIMÕES, C. L. N. Estudo da viabilidade econômica da concentração de vinhoto através de osmose inversa. In: ENEGEP 2004. Florianópolis, Santa Catarina. 2004. p. 1-4.
  
- SIQUERA, L. M. Influência da taxa de carregamento orgânico na degradação anaeróbica da vinhaça em reator de leito fluidizado. 2008. 151 f. Dissertação (Mestrado em engenharia química) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2008.
  
- SOUZA, F. A. F. Adaptação de lodo sanitário e industrial ao tratamento do vinhoto. 2011. 118 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal de Campina Grande Centro de Ciências e Tecnologias, Paraíba, 2011.
  
- SUN, Y.; CHENG, J. Hidrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. Bioresource Technology, v. 83, p.1-11, 2002.

- TENGBORG, C.; GALBE, M.; ZACCHI, G. Resuce inhibition of enzymatic hydrolysis of steam – pretreated softwood. *Enzyme and Microbial technology*, v. 28, p. 835-844, 2001.
  
- TIBAU, A.U. *Matéria orgânica e fertilidade do solo*. 1. ed., São Paulo: Livraria Nobel S/A, 1978. 72p.
  
- UDOP. Subprodutos da cana se tornaram fonte de receita. 2007. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/geral.php?item=noticia&cod=907>>. Acesso em :10/07/2013
  
- UNESP, Departamento de Tecnologia. Termo de referência para o workshop tecnológico: Vinhaça. Campus de Jaboticabal, 2007.
  
- VAN HAANDEL, A. C. Integrated energy production and reduction of the environmental impact at alcohol distillery plants. *Water Science and Technology*, v. 52, n. 1-2, p. 49-57, 2005.
  
- VITTI, G. C.; OLIVEIRA, D. B. de; QUINTINO, T. A. Micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V. et al. (Org.). *Atualização em produção de cana-de-açúcar*. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 121-138.
  
- Warwic, M e Rocha, M. O Agronegócio da cana e as Mudanças do Clima – Algumas Implicações da Convenção do Clima sobre o Setor Sucrialcooleiro. UDOP, 2006. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/geral.php?item=noticia&cod=980>> Acesso em: 10/07/2013.
  
- ZANCUL, A. – O Efeito da Queimada da Cana-de-Açúcar na Região de Araraquara– Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 1998.