

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DO SETOR SUCROENERGÉTICO – MTA**

UTILIZAÇÕES E POTENCIAIS USOS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

KARINA YURI KANAI

**Piracicaba
2012**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DO SETOR SUCROENERGÉTICO – MTA**

UTILIZAÇÕES E POTENCIAIS USOS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

KARINA YURI KANAI

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação MTA em Gestão de Produção Industrial Sucoenergética.

Aluno: Karina Yuri Kanai

Orientador: Prof. Dr. Octavio Antonio Valsechi

**Piracicaba
2012**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. OBJETIVOS.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
4. REVISÃO DA LITERATURA.....	9
5. CONCLUSÃO.....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26

RESUMO

O bagaço de cana-de-açúcar apresenta grande potenciais para matéria-prima nos mais diferentes segmentos. Antes visto como um simples resíduo, somente consumido durante a safra, hoje, devido as suas características físicas/químicas, tornou-se atrativo para outros produtos e segmentos. A utilização do bagaço nos mais diferentes setores está sendo avaliado para uma produção sustentável tanto por utilizar biomassa vegetal, quanto pela redução de compostos diversos através da substituição pelo bagaço.

Palavras-chave: Bagaço; cana-de-açúcar; biomassa; aplicações.

1. INTRODUÇÃO

Devido à grande quantidade produzida e a suas características físicas e químicas, o bagaço de cana-de-açúcar encontra um vasto campo de utilização (SILVA, 2010). Muitos processos e produtos estão sendo estudados e reportados utilizando o bagaço de cana-de-açúcar como matéria-prima como a produção de ração animal, na indústria química, como material alternativo na construção civil, na produção de biomassa microbiana e mais recentemente, na produção de álcool via bagaço (2º geração) e palha de cana (SILVA, 2010).

Considerando as possíveis aplicações, podemos citar: a geração de energia elétrica, produção de papel e celulose, outros produtos à base de fermentação, dentre estes incluem-se os produtos químicos e metabolitos como álcool, alcalóides, cogumelos, alimento para animais enriquecido com proteínas e enzimas (PARAMESWARAN, 2009).

A biomassa é uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos. Tanto no mercado internacional quanto no interno, ela é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis. Portanto, do processamento do bagaço de cana-de-açúcar é possível obter energia elétrica e biocombustíveis, como o biodiesel e o etanol, cujo consumo é crescente em substituição a derivados de petróleo como o óleo diesel e a gasolina (ANEEL, 2008). A utilização de fontes alternativas de energia, em particular os resíduos da cana-de-açúcar, aparece como uma oportunidade de particular importância para colaborar na oferta de energia para o país (SILVA & MORAIS, 2008).

Os biocombustíveis têm sido objeto de grande – e crescente – interesse nos últimos anos, uma vez que sua utilização contribui para reduzir a emissão de gases ligados ao efeito estufa e, portanto, para a mitigação do aquecimento global (ROSA & GARCIA, 2009).

Existem algumas aplicações em estudos e aprimoramento, que não são de total conhecimento, como a utilização de fibras naturais como uma alternativa para as fibras sintéticas à necessidade de se encontrar fontes renováveis de matéria-prima, de reduzir o impacto ambiental dos materiais e reduzir custos

(SANCHEZ et al., 2010) e a produção de xilitol, um adoçante substituto de açúcar na dieta de diabéticos e obesos, possui propriedade anticariogênica e tem potencial aplicação na prevenção de osteoporose, no tratamento de fibrose cística e de otite média. Além disso, possui elevado poder adoçante comparável ao da sacarose, e não participa das reações do tipo Maillard, que dão cor escura aos alimentos (CARVALHO et al., 2005).

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi relatar aplicações viáveis e as potenciais aplicações para o bagaço de cana-de-açúcar, antes tratado como resíduo e hoje encarado como matéria-prima.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, restringiu-se a pesquisas por temas mais recentes, consultando as referências bibliográficas a partir de 2000 até os dias de hoje. Dessa forma, acompanha-se o desenvolvimento das técnicas, novas percepções e aprofundamento em determinados segmentos.

4. REVISÃO DA LITERATURA

4.1 História e desenvolvimento do setor sucroenergético

Há mais de 500 anos, a açúcar possuía um valor comparável ao ouro, na Europa, em decorrência de sua produção limitada. O seu plantio era rentável, mas sofria com as restrições climáticas existentes na Europa. Por isso, durante as Grandes Navegações, buscou-se novas áreas para a produção de açúcar (UNICA, 2012a). No Brasil, a cana-de-açúcar foi introduzida em 1502, por Martim Afonso de Souza, proveniente de mudas da Ilha da Madeira (Cesnik, 2007).

Com clima tropical quente e úmido aqui encontrado e com mão-de-obra escrava da África, começou o primeiro ciclo econômico brasileiro, o “Ciclo da Cana-de-Açúcar”. O enriquecimento de Portugal com o comércio do açúcar estimulou a produção, na América Central, por franceses, espanhóis e ingleses. No Brasil, a capitania com maior produção era, inicialmente, a de Pernambuco, de Duarte Coelho, onde foi criado o primeiro centro açucareiro do País (UNICA, 2012b).

No decorrer das duas primeiras décadas do século XX, a expansão cafeeira atingiu várias regiões do país. A agroindústria canavieira foi uma escolha feita pela elite política e econômica paulista como alternativa à cafeicultura por vários motivos, dentre eles: as sucessivas crises do café, aumento da demanda de açúcar durante a Primeira Guerra Mundial e incentivos à diversificação agrícola (OLIVER & SZMRECSÁNYI, 2003). Em 1931, para reduzir os impactos da dependência de combustíveis derivados do petróleo e utilizar os excedentes de produção da indústria açucareira (BNDES, 2008), por meio de decreto presidencial (Decreto número 19.717) torna-se obrigatório a utilização de 5% de álcool anidro misturado à gasolina importada (OLIVEIRA, 2009). Para intensificar a intervenção governamental no setor, surge, em 1933, o IAA (Instituto de Açúcar e do Alcool), cuja principal função era controlar a produção, mantendo os preços de mercados em níveis adequados (UNICA, 2012b).

Como alternativa para superar a dispersão da produção de açúcar pelo mundo e a primeira crise do petróleo em 1973 (UNICA, 2012b), o setor sucroenergético encontra uma alternativa singular: a produção de álcool, que se descobre ser uma fonte de energia atraente, acarretando várias tentativas de

promovê-lo como combustível. O IAA organizou as bases para o aumento da produção alcooleira através de financiamentos de destilarias anexas às usinas de açúcar (BIODIESELBR, 2012).

Em 1975, surge o Proálcool – Programa Nacional do Álcool, incentivando e investindo em melhorias no setor sucroalcooleiro, inicialmente para aumento da produtividade do álcool Anidro e posteriormente estimulando o uso de álcool como combustível (OLIVEIRA, 2009). O programa foi motivado, principalmente, pela grande elevação dos preços do petróleo e desdobrou-se em duas etapas, que correspondem, aproximadamente, aos dois choques de oferta ocorridos. A primeira, que estabelecia a adição de álcool à gasolina, estendeu-se de 1975 a 1979, enquanto a segunda, orientada para veículos exclusivamente a álcool, foi de 1979 até a segunda metade da década de 1980 (ROSA & GARCIA, 2009).

Ainda de acordo com Oliveira (2009), no final dos anos 80 houve uma redução dos preços do barril de petróleo no mundo, derrubando o preço da gasolina e, de outro lado, elevando o do açúcar, que é item da cesta básica alimentar mundial. Neste momento, o governo muda sua política e não mais subsidia os preços do etanol, elevando o seu preço quase igualando ao da gasolina.

Após um período de estagnação de cerca de 15 anos, motivada principalmente por essa redução dos preços do petróleo, a produção de etanol volta a crescer acentuadamente. As usinas voltam a investir no mercado do etanol por dois principais fatores: em meados de 2003, a legislação de diversos estados norte-americanos determinou que o éter metil-terbutílico – MTBE, aditivo da gasolina com problemas ambientais, fosse substituído pelo etanol (ROSA & GARCIA, 2009) e o lançamento, também em 2003, do primeiro carro Flex (que possibilita a mistura álcool e gasolina, em qualquer proporção), pela Volks (gol) (OLIVEIRA, 2009).

De acordo com suas instalações, as usinas brasileiras podem ser classificadas em três tipos: as usinas de açúcar, que produzem exclusivamente açúcar, as usinas de açúcar com destilarias anexas (açúcar e bioetanol) e as instalações que só produzem bioetanol ou destilarias autônomas. A grande maioria das instalações é formada por usinas de açúcar com destilarias anexas (cerca de 60% do total), seguidas por destilarias autônomas (cerca de 35%) e por algumas unidades de processamento exclusivo de açúcar (BNDES, 2008).

A venda do excedente de energia elétrica como novo negócio, de forma bastante tímida, surgiu no final dos anos 80. Somente passou a ser seriamente discutida como uma fonte alternativa interessante a partir de 2001, quando o país passou por sérias dificuldades de oferta de energia e foi necessária a implementação de um severo programa de racionamento no consumo da energia elétrica e de racionalização de seu uso. As novas políticas públicas editadas a partir dessa época passaram a valorizar as fontes que requerem prazos curtos para instalação e funcionamento dos projetos e fontes alternativas de baixa emissão de carbono (CONAB, 2011).

4.2 Cana-de-açúcar e bagaço

Conforme descrito por Fernandes (2011), a cana-de-açúcar, principal matéria-prima para as indústrias sucroenergéticas do Brasil, possui em sua constituição aproximadamente 70% de umidade (água), de 15 a 20% de brix (sólidos solúveis da cana) entre maio e novembro e de 9 a 14% de fibra (sólidos insolúveis da cana). A fibra da cana é formada principalmente de celulose, que assim como amido, é um polissacarídeo formado por monômeros de glucose.

A composição estimada da biomassa do bagaço (em base seca) pode variar de acordo com composição de solo, condições climáticas, sendo de 37% celulose, 28% hemicelulose, 21% lignina e 14% outros compostos conforme Hamelinck et al. citado por Rosa e Garcia (2009) e de 50% celulose, 25% hemicelulose e 25% lignina, conforme Parameswaran (2009).

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar, responsável por cerca de 25% da produção mundial, seguido pela Índia, Paquistão, China e Tailândia. A Índia é o segundo maior produtor de açúcar do mundo (PARAMESWARAN, 2009). A produção para a safra 2011 foi de 560,36 milhões toneladas de cana-de-açúcar (CONAB, 2012), 35.922 mil toneladas de açúcar e 22.649 mil m³ de etanol (UNICA, 2012c).

O bagaço da cana é o resíduo sólido que remanesce da moagem da cana-de-açúcar nas usinas de açúcar e destilarias de álcool etílico no país. A proporção desse resíduo depende da quantidade de fibras que as particulares cultivares de cana apresentam. De um modo geral, o material genético em uso no país apresenta um teor aproximado de 270 a 290 kg de bagaço (com 50% de umidade) em cada tonelada de cana processada. Do total produzido nas unidades industriais, uma parcela diminuta (próxima a 10%) é destinada a usos diversos, como a alimentação animal, em especial através de um processo de hidrólise. Toda a parte restante (90%) é queimada em caldeiras no próprio ambiente onde é produzida, para a geração de vapor (CONAB, 2011).

Por causa do conteúdo reduzido de cinzas, o bagaço oferece vantagens para processos de conversão usando microrganismos. E comparando-se com outras culturas, o bagaço é um rico reservatório de energia solar, devido à sua

alta eficiência (80 toneladas por hectare) e a capacidade de regeneração anual (PANDEY et al. citado por PARAMESWARAM, 2009).

4.3 Energia renovável

Nossas fontes não são inesgotáveis, como se pensava há 150 anos ou menos. Três grandes ciclos de fonte de energia marcaram os últimos tempos: o carvão do século XIX, o petróleo do século XX e finalmente um novo ciclo onde pesquisam-se e desenvolvem-se fontes alternativas de energia, especialmente as que usam a biomassa (OLIVEIRA, 2009).

Qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica é classificada como biomassa. De acordo com a sua origem, pode ser: florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo). Os derivados obtidos dependem tanto da matéria-prima utilizada (cujo potencial energético varia de tipo para tipo) quanto da tecnologia de processamento para obtenção dos energéticos (ANEEL, 2008).

A escolha da cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de biocombustíveis baseia-se em dois principais motivos: rendimento energético e a liderança em tecnologia dessa cultura (NETO, 2009).

Os problemas associados à expansão da oferta dos biocombustíveis convencionais explicam a atenção dedicada aos processos avançados de obtenção de combustíveis líquidos com base na biomassa. De fato, tais processos permitiriam o emprego, em grande escala, de matérias-primas vegetais de menor custo, como resíduos agrícolas e industriais, ou que fossem provenientes de áreas pouco adequadas à agricultura convencional. A pressão sobre a produção de alimentos seria, portanto, muito diminuída (ROSA & GARCIA, 2009).

A cana-de-açúcar é um recurso com grande potencial, dentre as fontes de biomassa, para geração de eletricidade existente no país, por meio da utilização do bagaço e da palha. A participação é importante não só para a diversificação da matriz elétrica, mas também porque a safra coincide com o período de estiagem na região Sudeste/Centro-Oeste, onde está concentrada a maior potência instalada em hidrelétricas do país. A eletricidade fornecida neste período auxilia, portanto, a preservação dos níveis dos reservatórios das UHEs. Vários fatores contribuem para o cenário de expansão. Um deles é o volume já produzido e o potencial de aumento

da produção da cana-de-açúcar, estimulada pelo consumo crescente de etanol (ANEEL, 2008).

Um dos principais fatores positivos pelo uso racional do bagaço de cana-de-açúcar é a diminuição do impacto ambiental que o mesmo causa, como a mitigação de emissão de carbono da atmosfera e a redução do efeito estufa, sem falar dos benefícios para a economia do país. O panorama estabelecido no cenário atual sinaliza que as fontes de energia renováveis devem assumir papel crescente na matriz energética mundial, forçada pela perspectiva de redução das reservas de combustíveis fósseis e, cada vez mais, por questões ambientais. Entre as inúmeras fontes renováveis de energia, o bagaço de cana-de-açúcar mostra-se como uma alternativa bastante promissora (SILVA & MORAIS, 2008).

4.4 Utilização e aplicações

4.4.1 Energia elétrica – Cogeração

Existem várias rotas tecnológicas para obtenção da energia elétrica a partir da biomassa. Todas prevêm a conversão da matéria-prima em um produto intermediário que será utilizado em uma máquina motriz. Essa máquina produzirá a energia mecânica que acionará o gerador de energia elétrica. De uma maneira geral, todas as rotas tecnológicas, também, são aplicadas em processos de co-geração – produção de dois ou mais energéticos a partir de um único processo para geração de energia - tradicionalmente utilizada por setores industriais. Nos últimos anos, transformou-se também em um dos principais estímulos aos investimentos na produção de energia a partir da cana-de-açúcar por parte das usinas de açúcar e álcool (ANEEL, 2008).

Até 2000, o bagaço era considerado pelas usinas como resíduo e não matéria-prima. Trabalhava-se para não haver sobra ao final da safra, uma vez que o bagaço gerado era consumido nas caldeiras para a geração de energia para consumo interno. Com a geração de excedentes, novos empreendimentos e alguns antigos, estão optando por caldeiras de maior pressão do que 21 bar (até 100 bar), para obter melhor aproveitamento do bagaço (NETO, 2009).

Essa forma de usar o bagaço tem uma explicação simples: ele está disponível, em grandes volumes no mesmo local das fornalhas e grelhas queimadoras e, praticamente, não tem uso alternativo remunerador. Essa energia, limpa, renovável e de baixo custo é um fator importante para explicar a grande vantagem competitiva do açúcar fabricado com o caldo da cana-de-açúcar frente a seu concorrente, o açúcar fabricado com a beterraba açucareira. Este argumento vale também para o etanol extraído do caldo da cana quando comparado ao extraído do amido das plantas amiláceas, como o milho e o trigo, ou de plantas sacarinas, como a beterraba (CONAB, 2011).

Os canaviais são queimados como prática de pré-colheita. Não se adotando tal prática, o palhiço (ponteiros, folhas verdes e palhas) podem ser recolhidos e queimados para produção de vapor para geração de eletricidade ou convertidos em álcool carburante, diminuindo a grande poluição atmosférica

causada pela queima de canaviais. Do palhiço e do bagaço, 7.0×10^6 e 5.5×10^6 pessoas ano-1 poderão ser servidas, respectivamente (RÍPOLI et al., 2000)

4.4.2 Etanol 2º Geração ou Bioetanol

O bagaço da cana-de-açúcar é um potencial reservatório para produção de etanol, pois é o resíduo mais barato e disponível. Além disso possui alta concentração de carboidratos e uma quantidade de lignina relativamente baixa (PARAMESWARAN, 2009).

Um dos fatores para esse crescimento no interesse em aumentar a produção de etanol é a questão da legislação, pois países estão adotando metas de utilização de combustíveis renováveis. Por exemplo, a Índia está promovendo incentivo fiscal para o aumento do consumo de biocombustíveis. Além disso, existe a questão da utilização da mistura de biocombustíveis em combustíveis fósseis, como o aumento do percentual de etanol na gasolina (NETO, 2009).

Um dos desafios da produção de etanol a partir de biomassa lignocelulósica consiste em determinar o melhor processo para obtenção dos monossacarídeos. O processo de hidrólise escolhido deve ser economicamente viável, em termos de custo global, rendimento glicosídico e fermentabilidade do hidrolisado (SILVA, 2010).

As duas principais tecnologias para a obtenção do etanol a partir do bagaço da cana-de-açúcar são as com base em hidrólises (ácidas ou enzimáticas) e as de gaseificação de matérias lignocelulósicas (ROSA & GARCIA, 2009), com o objetivo de hidrolisar os polissacarídeos celulose e hemicelulose em glicose e xilose respectivamente (SILVA, 2010). Os esforços atuais concentram-se no desenvolvimento da hidrólise enzimática (ROSA & GARCIA, 2009), pois a hidrólise ácida apresenta algumas dificuldades: severas condições de manuseio (pH e temperatura, por exemplo), ataque dos reagentes aos carboidratos reduzindo o rendimento da reação e alto custo de manutenção, por exemplo, por problemas de corrosão (SILVA, 2010).

A primeira etapa no processamento da biomassa para produção de etanol é o pré-tratamento mecânico/físico ou químico (exemplos: explosão de vapor, termo-hidrólise, hidrólise ácida) (ROSA & GARCIA, 2009), que visa destruir a

estrutura celular das plantas, principalmente desestruturando a lignina, de modo a expor a celulose e hemicelulose às ações enzimáticas (SANTOS & GOUVEIA, 2009), além de contribuir para a formação de carboidratos, evitando a formação de substâncias inibitórias para as próximas etapas (SILVA, 2010).

A lignina, um dos principais componentes presente no bagaço de cana-de-açúcar, é um polímero altamente condensado e muito resistente à degradação. É o mais importante componente não-carboidratado da biomassa lignocelulósica. O bagaço é fortemente recalcitrante, devido à forte ligação existente entre a celulose hemicelulose e lignina (SILVA, 2010). A lignina é muito difícil de ser tratada quimicamente, e seu papel nos processos em desenvolvimento estará limitado, provavelmente, a fornecer energia térmica (ROSA & GARCIA, 2009).

A tecnologia para a hidrólise da hemicelulose já é amplamente conhecida e se verifica, frequentemente, em conjunto com a separação da lignina. Ocorre, no entanto, que não se conhecem, até o momento, microorganismos capazes de fermentar as pentoses – que são o produto dessa hidrólise – em escala industrial. A situação da celulose é oposta: a hidrólise é muito difícil, enquanto a fermentação de seu produto – as hexoses – está difundida, literalmente, há milênios. Essa assimetria no processamento dos constituintes da biomassa representa um dos grandes obstáculos à sua utilização como fonte de etanol (ROSA & GARCIA, 2009).

A hidrólise enzimática é uma reação heterogênea catalisada pelas celulasas, sendo distinguida por um substrato insolúvel (celulose) e um catalisador solúvel (enzimas). O processo enzimático é conduzido em condições brandas (pH 4,8 e temperatura entre 45° e 50° C), permite maiores rendimentos, possibilita a fermentação simultânea à sacarificação (hidrólise da celulose e fermentação da glicose no mesmo reator) e apresenta baixo custo de manutenção (não há problema de corrosão) (SILVA, 2010).

Santos & Gouveia (2009) encontraram uma eficiência de 44% em hidrólises enzimáticas em substrato (bagaço de cana-de-açúcar) com e sem a deslignificação, diferindo no tempo do processo, onde o material sem a deslignificação demorou bem mais do que o material submetido à deslignificação (pré-tratamento com vapor e NaOH). Acreditam que a presença de lignina e, conseqüentemente, a presença de compostos fenólicos na hidrólise do material não

designificado foi um fator limitante ao acesso das enzimas desfavorecendo a produção de bioetanol. Por outro lado, a designificação aumentou em 10% o rendimento de etanol em relação à glicose e em 96% em relação ao bagaço.

4.4.3 Alimentação Animal (Ração)

A prática do confinamento é uma opção importante para a pecuária de corte devido às exigências do mercado interno e externo por qualidade de carne. Esta prática exige a busca por matérias-primas baratas e eficientes para a composição de dietas de animais confinados. O bagaço de cana-de-açúcar é um dos subprodutos mais utilizados como fonte de alimento para os ruminantes, pois, além da grande quantidade produzida, sua disponibilidade ocorre exatamente no período de escassez de forragem (LEME et al., 2003).

Os resultados obtidos por Leme et al. (2003) confirmam a viabilidade do uso de 15 ou 21% de bagaço de cana-de-açúcar como única fonte de volumoso (base alimentar com mais de 18% de fibra bruta) para novilhos Nelore em confinamento, alimentados com dietas com elevada proporção de concentrado, contendo milho, polpa de citrus e farelo de soja.

Alguns tratamentos são realizados com o intuito de melhorar a utilização do bagaço de cana-de-açúcar e de outros subprodutos vegetais, que podem ser físicos e/ou químicos. Entre os tratamentos físicos, destacam-se a moagem e o tratamento térmico, e, entre os químicos, a uréia, a amônia anidra e o hidróxido de sódio (NaOH). O bagaço de cana-de-açúcar tratado com hidróxido de sódio apresenta melhor valor nutritivo (PIRES et al., 2006).

De acordo com Ezequiel et al. (2006) citado por Rabelo et al. (2008) nas regiões sucroalcooleiras, notadamente o Sudeste do Brasil, os bagaços de cana-de-açúcar in natura ou hidrolisado podem se acumular nas usinas com o término da safra e apresentar preços vantajosos, o que desperta o interesse dos pecuaristas pela oportunidade de redução do custo com alimentação e conseqüente aumento da rentabilidade na terminação de bovinos.

4.4.4 Papel biodegradável

O papel artesanal reciclado com fibras vegetais tem se mostrado de boa aparência, ótima aceitação no mercado e baixo custo operacional .

Estudos preliminares apontaram que o bagaço de cana possui grande quantidade de fibras de alta qualidade, pureza elevada e biodegradabilidade, o que está tornando o papel 100% reciclável (TANIGUCHI, 2011).

O ciclo de produção de papel de celulose gira em torno de 6 a 7 anos, pois este é o ciclo da madeira de reflorestamento, geralmente, o eucalipto. O papel de cana, leva em média, 18 meses, e exige menos produtos químicos nos processos de transformação e branqueamento das fibras (TANIGUCHI, 2011).

4.4.5 Bioplásticos, filtros e outros compostos

A celulose é o principal componente estrutural das fibras vegetais. A complexidade estrutural das hemiceluloses é responsável por propriedades como a ausência de cristalinidade, baixa massa molar e alta absorção de água. A hemicelulose é muito sensível à ação da soda cáustica, que afeta apenas ligeiramente a lignina e a α -celulose. A lignina é constituída por macromoléculas tridimensionais de fenilpropano. Por apresentar estrutura complexa e de alta massa molar a lignina apresenta-se predominantemente amorfa. As plantas de modo geral apresentam um teor de lignina entre 26 a 34%. A lignina confere rigidez à parede celular e na madeira age como ligação entre as células, gerando uma estrutura resistente ao impacto, à compressão e à dobra. Comparadas com outras fibras, as de bagaço de cana-de-açúcar apresentam menor resistência a tração, menor módulo de elasticidade, maior umidade e melhor degradabilidade, devido ao seu alto teor de hemicelulose (27%) e lignina (21%) (SANCHEZ et al., 2010).

Bagaço de cana-de-açúcar pré-tratado com solução ácida diluída (com condições moderadamente severas), liberam açúcares e outros hidrolisados incluindo ácidos orgânicos voláteis, furfural e lignina ácida, que podem ser utilizados por uma bactéria aeróbia (*Ralstonia eutropha*), para a biossíntese de bioplásticos valor agregado, os polihidroxicanoatos (Jian and Heiko, 2008 citado por PANAMESWARAN, 2009).

É crescente o interesse na utilização de materiais lignocelulósicos, principalmente de fibras vegetais, como reforço em compósitos de matriz termofixa e/ou termoplástica. Estes compósitos podem ser aplicados em diversas áreas, desde a indústria automotiva, embalagens até a de construção civil. Para melhorar a resistência ao impacto, torna-se necessário o reforço dessas matrizes, o que resulta em compósitos. O bagaço de cana-de-açúcar fornece a lignina, que pode substituir parcialmente o fenol nestas resinas (TITA et al., 2002). Conforme estudos desses autores, os valores de resistência à impacto no termofixos fenólicos não diferem significativamente para os dos termofixos lignofenólico, demonstrando que pode ser feita a substituição por partes de lignina.

No trabalho de Meireles (2007) utilizou-se bagaço de cana-de-açúcar reciclado para originar o acetato de celulose e poliestireno de copos de plásticos descartáveis, em diferentes composições para a produção das membranas de acetato de celulose. Os resultados do trabalho demonstram que as membranas produzidas a partir desses materiais recicláveis, apresentam performance comparável àquelas produzidas com material comercial.

A utilização de materiais que sejam subprodutos das atividades agropecuárias e industriais é de grande interesse, em virtude da sua abundância, do baixo custo de aquisição e da própria dificuldade de disposição desses materiais no ambiente. Resíduos orgânicos podem ser empregados como materiais filtrantes da água residuária de suinocultura, uma vez que proporcionaram melhoria nas qualidades química e física do efluente (BRANDÃO et al., 2000).

4.4.6 Adsorção de contaminantes ambientais

Existem vários métodos de tratamento de efluentes contaminados com metais tóxicos utilizando técnicas de troca iônica, extração por solventes, osmose reversa, precipitação e adsorção. As tecnologias desenvolvidas devem ser de fácil operação, altamente eficientes, baixo custo e limpas, ou seja, sem ou com geração mínima de resíduos secundários (YAMAMURA & YAMAURA, 2005).

Originários de atividades industriais e mineradoras, os rejeitos contendo metais pesados ocasionam danos severos ao meio ambiente e à saúde humana (YAMAMURA & YAMAURA, 2005).

Dentre outras utilizações, o bagaço de cana-de-açúcar, um sub-produto da cana-de-açúcar o qual representa de 25% a 30% da cana moída, está sendo estudado para a remoção de metais pesados como o Pb, Ni e Cd (YAMAMURA & YAMAURA, 2005).

A galvanoplastia é um dos processos industriais que mais utiliza o cádmio como matéria-prima (entre 45 e 60% da produção anual). O cádmio existente na atmosfera é precipitado e depositado no solo agrícola na relação aproximada de 3 g.ha⁻¹ ano⁻¹. Rejeitos não-ferrosos e artigos que contêm cádmio contribuem significativamente para a poluição ambiental. Outras formas de contaminação do solo são os resíduos da fabricação de cimento, da queima de combustíveis fósseis e lixo urbano e de sedimentos de esgotos. Na agricultura, uma fonte direta de contaminação pelo cádmio é a utilização de fertilizantes fosfatados (ALBERTINI et al., 2007).

Conforme o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (Resolução nº 357, 2005), estabelece que para abastecimento doméstico; irrigação de hortaliças, de pastagens e aquicultura, em que os níveis de cádmio, se encontram entre 0,001 e 0,01 mg.L⁻¹. E para lançamento de efluente em corpos de água, o efluente deve ser no máximo de 0,2 mg Cd.L⁻¹.

De acordo com Albertini et al. (2007) o bagaço de cana-de-açúcar poder ser utilizado para adsorção de metais pesados no tratamento de efluente, por exemplo em concentrações de efluente com 50 mg Cd.L⁻¹, o bagaço apresentou adsorção significativa de cerca de 33 mg Cd.L⁻¹ após 16 horas de contato. Entretanto, ressaltam a dificuldade em tratar o esse bagaço de cana pós-adsorção.

O processo de adsorção dos íons de U de soluções nítricas de pH 3,5 no bagaço de cana-de-açúcar, a temperatura ambiente (25° ± 2°C), apresentou uma cinética boa. Obedeceu o modelo de Langmuir e encontrou-se a capacidade máxima de adsorção de 7,4 mg de U⁶⁺, na forma de íons UO₂²⁺, por g de bagaço. O bagaço de cana-de-açúcar, sendo um resíduo natural, abundante, biodegradável, renovável e de baixo custo, apresenta boas perspectivas para ser utilizado em um processo alternativo de tratamento de rejeito radioativo para remoção de U (YAMAMURA & YAMAURA, 2005).

4.4.7 Outras aplicações

O bagaço de cana-de-açúcar vem se destacando em várias pesquisas como matéria-prima em diferentes processos fermentativos por sua fração hemicelulósica ser formada na sua maior parte pelo açúcar D-xilose. As leveduras fermentadoras de D-xilose, como as do gênero *Candida*, destacam-se por excretarem xilitol no meio, um poliol de sabor doce produzido industrialmente por processo químico. O xilitol é bastante aplicado comercialmente nos seguimentos farmacêutico, odontológico e alimentício devido às suas propriedades peculiares como sua anticariogenicidade, metabolismo independente de insulina, indicado na prevenção de osteoporose e no tratamento de doenças respiratórias. Durante a hidrólise ácida do bagaço necessária para a liberação dos açúcares de sua fração hemicelulósica, são também liberados compostos tóxicos às leveduras como fenóis, ácido acético, furfural e 5-hidroximetilfurfural. A toxicidade destes compostos às leveduras, como a inibição da atividade fermentativa é atribuída principalmente à concentração de compostos tóxicos no meio de fermentação bem como a interação sinérgica entre eles quando presentes no meio mesmo em baixas concentrações. Desta forma, diferentes procedimentos de destoxificação dos hidrolisados hemicelulósicos têm sido propostos para minimizar a toxicidade dos mesmos às células. O tratamento do hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana pelo sistema combinado, formado por carvão ativo e resinas de troca iônica, resultou em maior remoção de fenóis com conseqüente favorecimento da fermentabilidade do hidrolisado e aumento do fator de rendimento de D-xilose em xilitol empregando-se *C. guilliermondii*. (CARVALHO et al., 2005).

A pirólise do bagaço gera uma espécie de cinza composta em sua maior parte de materiais inorgânicos. A incorporação de resíduos sólidos em matriz cimentícia é uma das possíveis soluções para viabilizar a utilização desse material (ZARDO et al., 2004). O emprego da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) como adição mineral, substituindo parte do cimento em argamassas e concretos, contribui para a redução do impacto ambiental desses materiais, em boa parte decorrente da produção do cimento. A CBC é composta de 84% de SiO₂ e 5% de carbono. Considerando a resistência à compressão, argamassas com teores de CBC entre 0 e 30% indicaram a possibilidade de substituição de até 20% do cimento

pela CBC. Argamassas com maiores teores de cinza foram mais porosas e com maior absorção de água (PAULA et al., 2009). Os resultados indicaram a possibilidade de substituir até 20% do cimento Portland, na mistura, por cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, sem prejuízo da resistência à compressão simples (VALENCIANO & FREIRE, 2009). Zardo et al. (2004) indicam que resultados superiores de resistência à tração foram obtidos nos compósitos que utilizaram cinzas.

O substrato para crescimento de plantas também pode ser uma aplicação para o bagaço de cana-de-açúcar. Existem trabalhos, onde parte de compostos de substrato são substituído por bagaço e/ou torta de filtro, outro resíduo da indústria sucroenergética. O fraco desempenho do tratamento com 80% de bagaço de cana-de-açúcar e 20% de casca de coco pode ser atribuído à participação excessiva do bagaço de cana e à ausência da torta de filtro na composição do substrato, tornando-o física e quimicamente inferior. Isto ocorreu porque, entre os três resíduos, o bagaço de cana é o mais pobre em nutrientes. Os blocos prensados de origem finlandesa e os preparados com bagaço de cana-de-açúcar e torta de filtro de usina, misturados, respectivamente, nas proporções de 70 e 30 %, v v-1, foram os mais adequados para a produção de mudas de *Saccharum* spp. (MORGADO et al., 2000). Método de produção em blocos preparados com material prensado apresenta, como principais vantagens, a possibilidade de desenvolvimento do sistema radicular sem deformações, a facilidade de manuseio das mudas durante o plantio e a redução nos custos de produção, devido à possibilidade de uso intensivo da mecanização (MORGADO et al., 2000). O cultivo in vitro de orquídeas é uma ferramenta importante na obtenção de plantas livres de doenças e pragas, em um menor espaço de tempo. A etapa final deste processo consiste na aclimatização das plântulas (ASSAKAWA et al., 2008).

5. CONCLUSÃO

Inicialmente o bagaço de cana-de-açúcar era visto somente como um resíduo da indústria produtora de açúcar e álcool. Com o passar do tempo e baseado em novas descobertas e desenvolvimentos, passou a ser aplicado em diversas formas: de etanol de segunda geração, passando de matéria-prima para a geração de energia elétrica, ração animal, bioplásticos, papel entre outros.

A demanda por biocombustíveis está em ascensão. Entretanto, deverá enfrentar sérias restrições no que se refere à oferta, já que os combustíveis de biomassa vegetais utilizados atualmente são provenientes de açúcar, amido ou oleaginosas que até recentemente eram de alguma forma destinadas à alimentação humana ou animal. Percebe-se, então, um possível conflito entre a produção de alimentos e a de biocombustíveis. Outro importante fato a ser observado, é que com o desenvolvimento, aumenta-se o consumo de energia também. Por causa disso, o bagaço de cana-de-açúcar acaba se tornando uma matéria-prima para a geração de energia elétrica, através da sua queima.

Com exceção da geração de energia, as demais aplicações ainda necessitam de estudos e principalmente de desenvolvimento de tecnologias para tornar a utilização do bagaço viável economicamente. Mas são mercados promissores, e a maioria em acordo com a situação mundial atual, que visa tecnologias e aplicações sustentáveis, com o menor impacto ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTINI, S.; CARMO, L.F.; PRADO FILHO, L.G. Utilização de serragem e bagaço de cana-de-açúcar para adsorção de cádmio. Campinas: 2007. Ciênc. Tecnol. Aliment. v. 27(1). p. 113-118.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Biomassa. In: Atlas de energia elétrica do Brasil. 3 ed. Brasília : Aneel, 2008. p 63-74.

ASSAKAWA, R.H.; FARIA, S.F.; ZONETTI, P.C. Uso de substratos alternativos na aclimatização de plântulas de *Laelia purpurata* Lindl (Orchidaceae). IV Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Científica do Cesumar. Paraná: 2008. ISBN 978-85-61091-01-9.

BIODIESELBR. História da Indústria Sucroalcooleira. Disponível em <<http://www.biodieselbr.com/proalcool/historia/proalcool-industria-sucroalcooleira.htm>>. Acesso em 02.jul.2012.

BNDES. Bietanol de Cana de Açúcar: energia para desenvolvimento sustentável.1. ed. Rio de Janeiro: BNDES, 2008. 316 p.

BRANDÃO, V.S.; MATOS, A.T., MARTINEZ, M.A.; FONTES, M.P.P. Tratamento de águas residuárias da Suinocultura utilizando-se filtros orgânicos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2000. v.4, n.3. p.327-333

CARVALHO, R.J.; MARTON, J.M.; A.M.G. Avaliação do sistema combinado de tratamento do hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar com carvão ativo e resinas de troca iônica para sua utilização como meio de fermentação. Revista Analytica, 2005, n. 18. p. 48-55.

CESNIK, R. Melhoria da cana-de-açúcar: marco sucroalcooleiro no Brasil. Com Ciência - Revista Eletrônica de Jornalismo Científico .Disponível em: <www.comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao=23&id=256&print=true>. Acesso em 01.jul.2012.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. A Geração Termoelétrica com a Queima do Bagaço de Cana-de-Açúcar no Brasil: Análise do Desempenho da Safra 2009-2010. Brasília: Conab 2011. 157 p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira : cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto/2012. Brasília: Conab 2012. 18 p.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>

FERNANDES, A.C. Cálculos na Agroindústria da Cana-de-açúcar. 3 ed. Piracicaba: STAB – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. 2011. 416 p.

LEME, P.R.; SILVA, S.L.; PEREIRA, A.S.C.; PUTRINO, S.M.; LANNA, D.P.D.; FILHO, J.C.M.N. Utilização do Bagaço de Cana-de-Açúcar em Dietas com Elevada Proporção de Concentrados para Novilhos Nelore em Confinamento. R. Bras. Zootec., 2003. v.32, n.6, p.1786-1791, 2003

MEIRELES, C.S. Síntese e caracterização de membranas de acetato de celulose, obtido do bagaço de cana-de-açúcar, e blendas de acetato de celulose com poliestireno de copos de plásticos descartados. Uberlândia: 2007. 80 p. Dissertação (Mestrado).

MORGADO, I.F.; CARNEIRO, J.G.A.; LELES, P.S.S.; BARROSO, D.G. Resíduos agroindustriais prensados como substrato para a produção de mudas de cana-de-açúcar. *Scientia Agricola*: 2000. v.57, n.4, p.709-712.

NETO, O.B. Integrações 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). São Paulo: USP, 2009. 137 p. Dissertação (Mestrado).

OLIVEIRA, L.C. Indústria de etanol no Brasil: uma estrutura de mercado em mudança. Curitiba: UFPR, 2009. 182 p. Dissertação (Mestrado).

OLIVER, G.S.; SZMRECSÁNYI, T. A Estação Experimental de Piracicaba e a modernização tecnológica da agroindústria canavieira (1920 a 1940). *Revista Brasileira de História*. São Paulo: 2003. v. 23, nº 46, p. 37-60.

PARAMESWARAN, B. Sugarcane bagasse. In: NINGAM, P.S.; Pandey, A. *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilization*. Springer Science, 2009. p. 239-252.

PAULA, M.O.; TINÔCO, I.F.F.; RODRIGUES, C.S.; SILVA, E.N.; SOUZA, C.F. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2009. v.13, n.3, p.353–357.

PIRES, A.J.V.; REIS, R.A.; CARVALHO, G.G.P.; SIQUEIRA, G.R.; BERNARDES, T.F. R. *Bras. Zootec.*, 2006. v.35, n.3, p.953-957.

RABELO, M.M.A.; PIRES, A.V.; SUSIN, I.; MENDES, C.Q.; JUNIOR, R.C.O.; FERREIRA, E.M. R. *Bras. Zootec.* , 2008. v.37, n.9, p.1696-1703.

RÍPOLI, T.C.C.; MOLINA, W.F.; RÍPOLI, M.L.C. Energy potential of sugar cane biomass in Brazil. *Scientia Agricola*, v.57, nº 4. 2000. p. 677-681.

ROSA, S.E.S; GARCIA, J.L.F. O etanol de segunda geração: limites e oportunidades. *Revista do BNDES*, nº 32. 2009. p. 117-156.

SANCHEZ, E.M.S.; CAVANI, C.S.; LEAL, C.V.; SANCHEZ, C.G. Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. *Polímeros*, 2010.v. 20, nº 3, p. 194-200.

SANTOS, J.R.A.; GOUVEIA, E.R. Produção de bioetanol de bagaço de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*. Campina Grande: 2009. v.11, nº 1, p.27-33.

SILVA, M.B.; MORAIS, A.S. Avaliação energética do Bagaço de cana em diferentes Níveis de umidade e graus de Compactação. In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Rio de Janeiro: 2008.

SILVA, O.M. Produção de etanol com a utilização do bagaço de cana-de-açúcar. Araçatuba: Fatec, 2010. 45 p. Trabalho (Graduação).

TANIGUCHI, V. Bagaço de cana produz papel biodegradável. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,EMI281184-18080,00-BAGACO+DE+CANA+PRODUZ+PAPEL+BIODEGRADAVEL.html>>

TITA, S.P.S.; PAIVA, J.M.F.; FOLLINI, E. Resistência ao impacto e outras propriedades de compósitos lignocelulósicos: matrizes termofixas fenólicas reforçadas com fibras de bagaço de cana-de-açúcar. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 2002. v. 12, nº 4, p. 228-239

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Setor Sucroenergético – Histórico: 1-Ciclo Econômico da Cana-de-Açúcar. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode=8875C0EE-34FA-4649-A2E6-80160F1A4782>>. Acesso em 02.jul.2012a.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Setor Sucroenergético – Histórico: 3-O declínio do século XIX. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode=99E1D9E6-5FE2-45AB-9E18-CD1E37C6B535>>. Acesso em 02.jul.2012b.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar: UNICADATA. Disponível em: <http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=32&tipoHistorico=4&acao=visualizar&idTabela=1195&safr=2011%2F2012&estado=RS%2CSC%2CPR%2CSP%2CRJ%2CMG%2CES%2CMS%2CMT%2CGO%2CDF%2CBA%2CSE%2CAL%2CPE%2CPB%2CRN%2CCE%2CPI%2CMA%2CTO%2CPA%2CAP%2CRO%2CAM%2CAC%2CRR> Acesso em 16 ago.2012c.

VALENCIANO, M.D.M.; FREIRE, W.J. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar. Eng. Agríc., Jaboticabal, 2004. v.24, n.3, p.484-492

YAMAMURA, A.P.G.; YAMAURA, M. Estudo da cinética e das isotermas de adsorção de U pelo bagaço de cana-de-açúcar. International Nuclear Atlantic Conference. Santo: 2005.

ZARDO, A.M.; BEZERRA, E.M.; MARTELLO, L.S.; SAVASTANO, H. I Conferência latino-americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo, 2004. ISBN 85-89478-08-4.