

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

Karina Yassue Inagaki Kumazawa

**PROCESSOS ATUAIS, TENDÊNCIAS E TECNOLOGIAS
EMERGENTES DOS DIFERENTES PRODUTOS OBTIDOS A PARTIR
DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Rosana Goldbeck

Campinas - SP

2017

Karina Yassue Inagaki Kumazawa

PROCESSOS ATUAIS, TENDÊNCIAS E TECNOLOGIAS
EMERGENTES DOS DIFERENTES PRODUTOS OBTIDOS A PARTIR
DA CANA-DE-AÇÚCAR

Campinas, 28 de novembro de 2017.

Orientadora

Prof^a. Dr^a. Rosana Goldbeck

Professora Responsável

Prof^a. Dr^a. Nathália Cristina Cirone

Dedicatória

Dedico este trabalho ao meu amado pai, Laércio Satoshi Kumazawa, que me inspirou a abordar este assunto devido à sua incessante dedicação e grande amor pela agricultura.

Agradecimentos

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Rosana Goldbeck, pela orientação, paciência e toda ajuda fornecida neste trabalho;

À minha família - meu pai, Laércio, minha mãe, Elisa e minha irmãzinha, Yuri, que sempre estiveram presentes em todos os momentos da minha vida e que me apoiaram em minhas decisões, deram-me muito amor e sempre foram o meu maior porto seguro;

Ao meu namorado, melhor amigo e companheiro, Silvano, quem me ensina a olhar a vida de uma maneira mais bela e me mostra que, sem amor, não somos ninguém;

Aos meus amigos de Birigui - SP, da Faculdade e do Intercâmbio, com os quais pude compartilhar felicidades, frustrações, medos e conquistas e sempre foram muito importantes na minha vida;

E a todos os professores e colaboradores da UNICAMP, os quais foram essenciais para o meu aprendizado e que contribuíram para tornar-me a profissional que sou hoje;

“Pouco conhecimento faz com que as pessoas se sintam orgulhosas. Muito conhecimento, que se sintam humildes”.

Leonardo da Vinci



Resumo

O Brasil é líder mundial na produção de cana-de-açúcar. No país, o plantio desta gramínea ocupa a primeira posição na produção agrícola, evidenciando-se a importância da cana-de-açúcar para a economia brasileira, principalmente devido à produção de etanol. Nos últimos anos, a busca por fontes renováveis de combustíveis foi o principal fator que levou ao aumento do cultivo da cana-de-açúcar no Brasil devido a sua utilização como matéria-prima na produção de biocombustíveis (bioetanol). Além disso, a cana-de-açúcar também é amplamente utilizada na produção de alimentos e bebidas. Ademais, os resíduos industriais obtidos da produção de açúcar e etanol também podem ser utilizados para produção de novos produtos agregando valor a estes resíduos. A partir da cana-de-açúcar, há uma vasta gama de produtos que podem ser produzidos de maneira direta (processamento a partir da cana-de-açúcar *in natura*) ou indireta (processamento realizado utilizando-se os resíduos gerados a partir da produção de álcool e açúcar). Este trabalho aborda alguns dos possíveis produtos que podem ser obtidos a partir destas duas vias, sendo o etanol, o açúcar, o melado, a rapadura e a garapa pasteurizada os exemplos abordados que podem ser obtidos por meios diretos e o etanol 2G, as enzimas, a ração animal, os xilo-oligossacarídeos, o xilitol, a energia elétrica, as ceras, o policosanol, os fitosteróis e o biogás os produtos abordados que podem ser obtidos a partir do aproveitamento dos resíduos gerados. Para cada produto também descreve-se os métodos de processamento e atuais tendências existentes, bem como aborda alguns aspectos sobre a sustentabilidade e suas controvérsias na produção de cana-de-açúcar. Assim, a partir deste trabalho, foi possível concluir que existem diversas aplicações para os resíduos provenientes da indústria sucroalcooleira, que podem ser melhor aproveitados, agregando valor e diminuindo o impacto ambiental gerado.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, bagaço de cana, resíduos - subprodutos – reaproveitamento.

Abstract

Brazil is the world leader in the production of sugarcane. In the country, the cultivation of this grass ranks first in agricultural production, evidencing the importance of sugarcane to the Brazilian economy, which is mainly due to the production of ethanol. In recent years, the demand for renewable fuels has been the main factor that led to increased sugarcane cultivation in Brazil due to its use as a raw material in the production of bio-fuels (bioethanol). In addition, sugarcane is also widely used for food and beverage production. Additionally, industrial waste obtained from the production of sugar and ethanol can also be used to produce new products by adding value to these wastes. From sugar cane, there is a wide range of products that can be produced by direct methods (processing from the sugarcane *in natura*) or indirect methods (processing conducted using the residues generated from the production of alcohol and sugar). This paper discusses some of the possible products that can be obtained from these two methods, with ethanol, sugar, molasses, rapadura and pasteurized garapa being examples of products that can be obtained by direct means and 2G ethanol, enzymes, animal feed, xyloligosaccharides, xylitol, electric energy, waxes, policosanol, phytosterols and biogas, the products covered that can be obtained from the use of generated residues. The processing methods and current trends for each product is also described, as well as discusses some aspects of sustainability and its controversies in the production of sugarcane. Therefore, from this work, it was possible to conclude that there are several applications for the residues obtained from the sugar and alcohol industry, which can be better utilized by adding value to them and reducing the environmental impact generated.

Key words: sugarcane, sugarcane bagasse, residues - byproducts – reuse.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1. Cana-de-açúcar	10
2.2. Processamento da cana-de-açúcar	10
2.3. Produtos obtidos a partir da cana-de-açúcar	15
2.3.1. Produção de açúcar.....	15
2.3.2. Produção de Etanol 1G	16
2.3.3. Melado.....	17
2.3.4. Rapadura.....	18
2.3.5. Caldo de cana - Garapa	19
2.4. Resíduos.....	20
2.4.1. Produção de Etanol 2G	24
2.4.2. Produção de enzimas.....	26
2.4.3. Bagaço de cana para alimentação animal.....	27
2.4.4. Ceras.....	28
2.4.4.1. Obtenção de policosanol	29
2.4.4.2. Obtenção de fitoesteróis.....	29
2.4.5. Produção de xilo-oligossacarídeos.....	30
2.4.6. Produção de xilitol	32
2.4.7. Geração de energia utilizando subprodutos	34
2.4.7.1. Queima da palha/bagaço de cana-de-açúcar.....	34
2.4.7.2. Geração de gás metano (biogás)	35
2.5. Sustentabilidade da produção da cana-de-açúcar	36
3. CONCLUSÃO.....	38
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1. INTRODUÇÃO

O plantio da cana-de-açúcar no Brasil teve início no período colonial (FIGUEIREDO, 2008), onde a exportação do açúcar para a população de classes mais elevadas do mercado europeu mostrava-se altamente lucrativa. Ano após ano, o cultivo desta *commodity* vem aumentando no país e, atualmente, a produção da cana-de-açúcar ocupa o primeiro lugar na produção agrícola do Brasil, além de ser o líder mundial na produção desta (CONAB, 2017b).

A produção de cana-de-açúcar está distribuída por mais de 100 países, sendo que 75% da produção mundial está concentrada entre Brasil, China, Cuba, Tailândia, Paquistão, México e Austrália. Atualmente, o Brasil é o maior produtor da cana-de-açúcar, abrangendo 35,1% da produção mundial (AOCD/FAO, 2016), onde 60% da produção nacional está concentrada apenas nos estados de São Paulo (DAS NEVES et al., 2015)

Segundo a Conab – Companhia Nacional de Abastecimento, a safra da cana-de-açúcar de 2016/2017 foi de, aproximadamente, 657,18 milhões de toneladas, redução de 1,3% em relação à safra 2015/16, cuja produção foi de 665,6 mil toneladas. A Figura 1 apresenta os dados de produção do Brasil de cana-de-açúcar, área plantada e produtividade de 2005 a 2017.

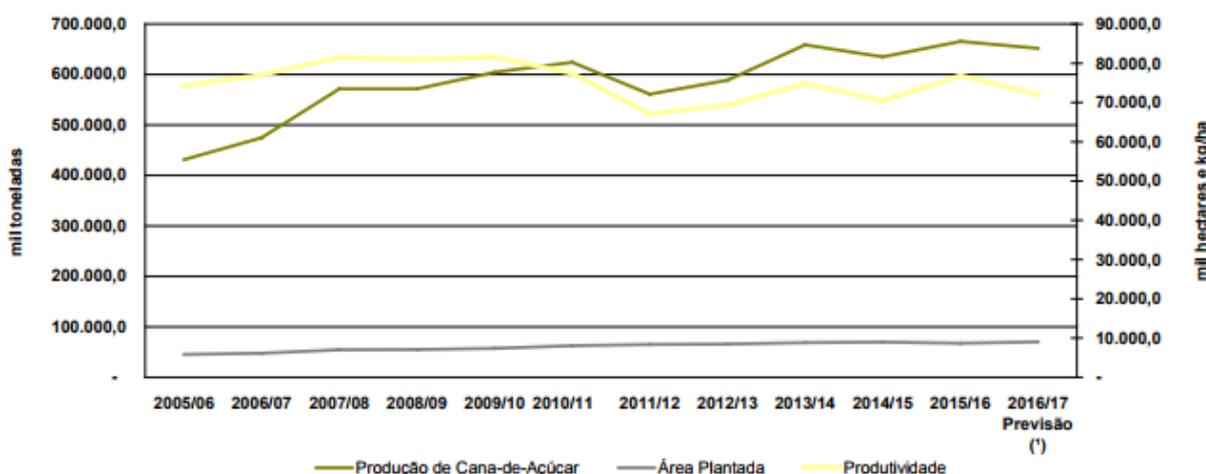


Figura 1. Evolução da área plantada, produção e produtividade da cana de açúcar no Brasil

Fonte: CONAB, 2017^a.

Em relação aos produtos mais relevantes obtidos a partir da cana-de-açúcar, a produção na safra 2016/2017 foram as seguintes: a produção de açúcar atingiu

38,69 milhões de toneladas, valor 15,5% superior à safra anterior devido ao melhor preço por causa da redução da safra na Índia e abertura de outros mercados na União Europeia; a produção de etanol manteve-se acima de 27,80 bilhões de litros, uma redução de 8,7% em relação a safra passado devido ao melhor preço do açúcar; o etanol anidro (utilizado na mistura com gasolina) alcançou uma produção de 11,07 bilhões de litros, 1,2% inferior a safra passada; e a produção de etanol hidratado foi de 16,73 bilhões de litros, redução de 13,1% em relação a safra anterior devido ao menor consumo deste combustível (CONAB, 2017a).

De acordo com o primeiro levantamento da CONAB em relação à safra 2017/2018 da cana-de-açúcar, a produção será de 647,6 milhões de toneladas, 1,5% inferior do que a produção passada. Tal redução relaciona-se diretamente à diminuição da área colhida de cana-de-açúcar no Brasil destinada à atividade sucroalcooleira, que, por sua vez, foi prejudicada devido ao grande número de empresas em recuperação judicial afetadas pelas oscilações no preço do açúcar, baixa competitividade dos preços do mercado interno do etanol, além de fatores climáticos desfavoráveis decorrentes de safras anteriores (CONAB, 2017b).

Nos últimos anos, a busca por fontes renováveis de combustíveis foi o principal fator que levou ao aumento do cultivo da cana-de-açúcar no Brasil devido a sua utilização como matéria-prima na produção de etanol (álcool etílico). Além disso, a cana-de-açúcar também é amplamente utilizada na produção de alimentos e bebidas, tais como açúcar, rapadura, garapa (caldo de cana), aguardente, entre outros. Além disso, os resíduos industriais obtidos da produção de açúcar e etanol também podem ser utilizados, sendo eles a torta de filtro, que é utilizada para adubar plantações; vinhaça, utilizada para irrigação de plantações de cana-de-açúcar devido ao alto teor de nutrientes NPK (nitrogênio, fósforo e potássio); e palha de cana, que é queimada para gerar energia (MARTINEZ JIMENEZ, 2016).

Em face disto, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre os mais variados produtos que podem ser obtidos a partir da cana-de-açúcar, além de detalhar seus processos produtivos atuais, bem como suas tendências no aproveitamento de resíduos na geração de novos produtos de maior valor agregado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*) é uma gramínea pertencente à família Gramineae originária do sudeste asiático, sendo introduzida no Brasil no século XVI pelos navegantes portugueses (ROSILLO-CALLE et al., 2005). Atualmente, a cana-de-açúcar é a principal matéria-prima utilizada na fabricação de açúcar e etanol.

Fisicamente, esta planta pode atingir de dois a cinco metros de altura, apresentando diferentes tonalidades de cores. Sua estrutura é composta pela raiz, inflorescência (espiga), presença de caule em formato de colmos, unidades caracterizadas por nós delineados e entrenós distintos, e folhas finas e longas com lâminas de sílica nas bordas e bainha aberta (JOAQUIM, 1997; SCHLITTLER, 2006). Na Tabela 1 encontra-se a composição química da cana-de-açúcar, cuja composição é de, principalmente, água, fibras e açúcares.

Tabela 1. Composição química da cana-de-açúcar.

Compostos	Teor (%)
Água	65 – 75
Fibras	4 – 14
Açúcares	12 – 18
Cinzas	0,4 – 0,8
Matéria nitrogenada	0,3 – 0,6
Lipídios totais	0,15 – 0,25
Substâncias pécticas, gomas e mucilagens	0,15 – 0,25
Ácidos combinados	0,10 – 0,15
Ácidos livres	0,06 – 0,10
Matéria corante	Não dosadas

Fonte: MARTUCHI (1983), citado por ROSARIO (2006).

2.2. Processamento da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é transportada do campo à usina por caminhões que podem transportar a cana inteira (forma manual) ou picada em toletes de 20 a 25 cm (forma mecânica). Ao chegar na usina, os caminhões são pesados e amostragens são realizadas a fim de se obter um maior controle da moagem e cálculos de rendimento industrial (COPERSUCAR, 1988). O pagamento é feito aos fornecedores com base na qualidade da cana-de-açúcar expressa pela concentração total de

açúcares recuperáveis (sacarose, frutose e glicose) no processamento industrial. A este valor é dado o nome de Açúcar Total Recuperável (ATR) expresso em quilo/tonelada (kg/ton) de cana (BURNQUIST, 1999).

Após as análises, a cana recebida segue para as mesas alimentadoras, onde é feita a lavagem (a qual vem sendo substituída por limpeza a seco) (MACHADO, 2012) da matéria-prima para remoção de corpos estranhos, tais como terra, areia, entre outros a fim de garantir um caldo com melhor qualidade e aumentar a vida útil dos equipamentos devido a remoção de partículas abrasivas. Em seguida, as mesas alimentadoras transportam a cana para a etapa de preparo, a qual tem a função de aumentar a capacidade de moagem e extração dos açúcares através do aumento da sua densidade e rompimento das células, o que permite uma maior liberação do caldo contido no seu interior. Esta etapa é feita por facas no desfibrilador. Em seguida realiza-se a extração do caldo, cujo objetivo é extrair o máximo possível do líquido presente no interior da estrutura, visto que é nele que se encontram os açúcares (PULZATTO, 1995).

A extração é normalmente feita por moagem pelo esmagamento da cana por um conjunto de rolos das moendas que exercem uma forte pressão sobre a cana. Neste método a moagem ocorre em mais de uma etapa. Na primeira moenda ocorre a queda da proporção de caldo em relação a fibra de 7 para 2 a 2,5, obtendo-se o caldo primário. Nas demais moendas é necessário efetuar embebição da cana a fim de diluir o caldo remanescente e possibilitar melhor extração da sacarose (COPERSUCAR, 1988). Normalmente, o caldo primário é utilizado para a produção de açúcar, enquanto que o caldo obtido das moendas posteriores, cujo nome é caldo misto, segue para a produção de etanol (COSTA, 2012).

Além da moagem, pode-se efetuar a extração do caldo por difusão, cuja separação é feita pelo princípio da osmose por meio da lavagem da sacarose absorvida no colchão da cana. Após o processo de difusão, o bagaço ainda contém elevado teor de umidade e deve passar por um conjunto de rolos para remover a água. Este método vem substituindo as moendas em usinas mais atuais, mas, para a fabricação de açúcar, ainda é pouco utilizado. Enquanto que o método por moagem com embebição apresenta eficiência de extração de açúcares de 92 a 96% e gera bagaço com 50% de umidade, o método de difusão tem eficiência de, aproximadamente, 98%. Entretanto, apesar da maior eficiência, a difusão não extrai

apenas açúcares, mas também impurezas da cana que podem prejudicar o produto final (EMBRAPA, 2012; COPERSUCAR, 1988; MACHADO, 2012).

Após a extração de açúcares, o caldo segue para a etapa de tratamento para remoção de impurezas, a qual pode ser dividida entre peneiramento, sulfitação (caso o produto final seja o açúcar branco), calagem, flasheamento e decantação. O peneiramento tem como objetivo remover as impurezas grossas, tais como pedaços de bagaço e partículas de terra ou areia (HAMERSKI, 2009). Em seguida, o caldo filtrado segue para a sulfitação, etapa na qual ocorre adição de gás anidrido sulfuroso ao produto para abaixar o pH para valores entre 3,8 e 4,2. Este procedimento tem como função inibir a formação de compostos de cor, coagular materiais coloidais, formar um precipitado insolúvel que irá arrastar impurezas durante a etapa de sedimentação e diminuir a viscosidade do caldo e auxiliar na desinfecção (COPERSUCAR, 1988). Atualmente, alguns processos tem substituído eficientemente o sulfito pelo gás ozônio (MACHADO, 2012), sendo tal substituição satisfatória em relação a utilização de SO_2 devido a manutenção dos padrões de cor do açúcar obtido, alto poder de desinfecção, redução de problemas de corrosão de equipamentos, entre outros. Como desvantagens, temos que este processo é mais custoso devido a necessidade de se instalar uma usina concentradora de O_3 , mesmo que o processo a partir deste método seja mais barato (GASIL, 2004).

Ao caldo obtido após o processo de sulfitação adiciona-se cal hidratada (processo de calagem) a fim de neutralizar os ácidos orgânicos presentes, formando sais insolúveis, tais como oxálico, tartárico, entre outros e aumentando o pH para 6,8 a 7,2. O caldo é aquecido para aumentar a floculação pela aglomeração de partículas de sulfato e fosfato de cálcio, sais de ácidos orgânicos, proteínas desnaturadas, gomas, gorduras e ceras. Nesta etapa, o caldo atinge temperaturas acima do ponto de ebulição na pressão atmosférica, chegando a, aproximadamente, 105°C . O precipitado adsorve e arrasta o material em suspensão no caldo, que será posteriormente separado por decantação (HUGOT, 1977).

Após a calagem, o caldo segue para o *flasheamento*, no qual o produto a alta temperatura passa por um recipiente cilíndrico localizado na entrada do decantador. Este cilindro contém uma chaminé aberta para a atmosfera e o contato do caldo a 105°C nesta pressão promove sua evaporação espontânea (COOPERSUCAR, 1988). Em seguida, o caldo passa pela etapa de decantação, a qual tem como

função separar o caldo tratado do material floculado pela diferença de densidade entre as fases. O caldo decantado é posteriormente enviado aos evaporadores para efetuar a concentração. As impurezas precipitadas são denominadas de “lodo”, o qual pode ser enviado para o filtro rotativo a fim de recuperar o caldo residual (COPERSUCAR, 1988). A torta obtida do filtro rotativo pode ser utilizada como adubo (mais comum) ou para obtenção de cera de cana, produto de maior valor agregado (WADA, 2008).

A seguir, a Figura 2 apresenta o fluxograma dos produtos que podem ser obtidos a partir da cana-de-açúcar:

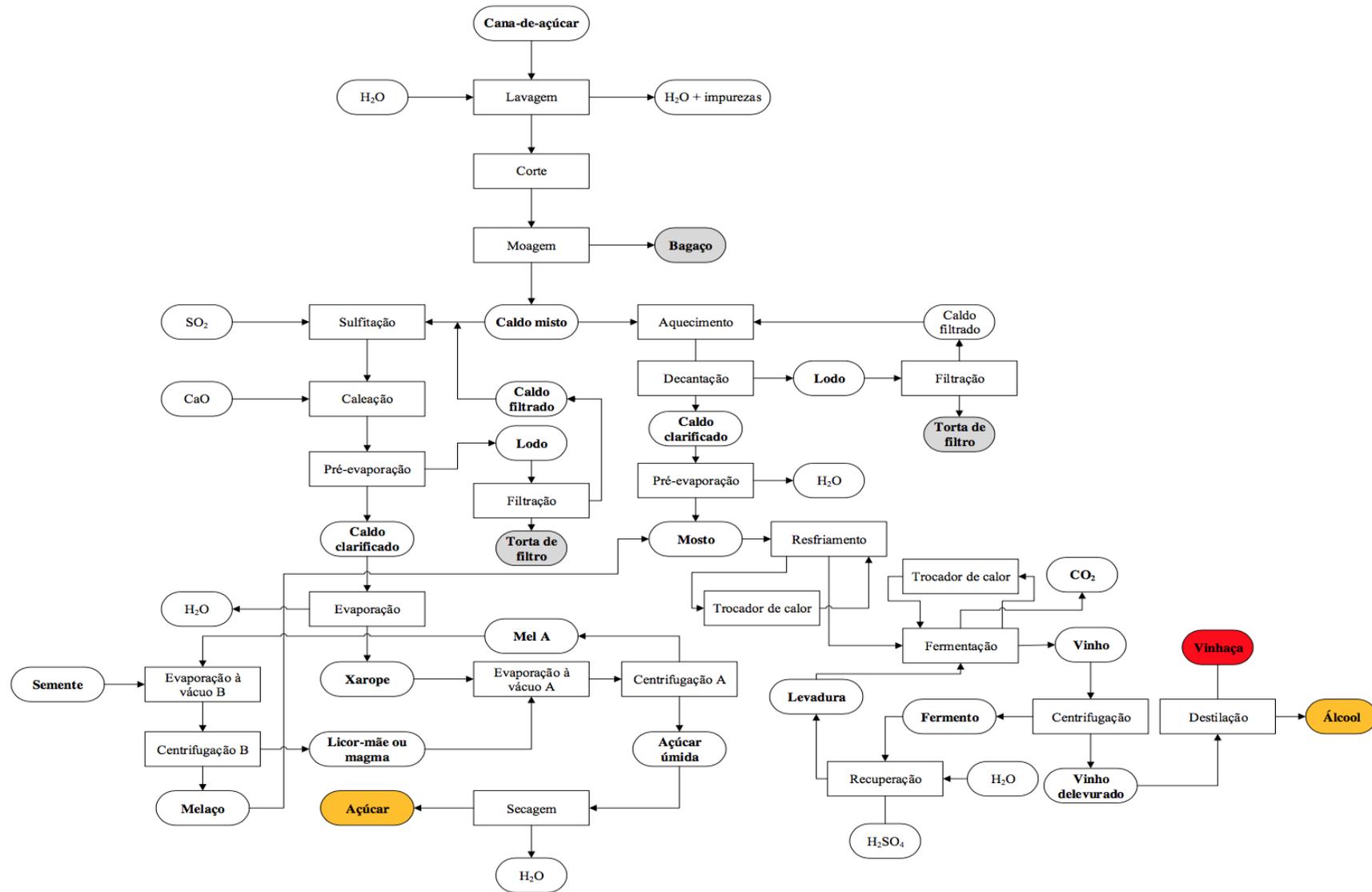


Figura 2. Fluxograma dos produtos e subprodutos obtidos a partir da cana de açúcar. Fonte: MARTINEZ JIMENEZ (2016).

2.3. Produtos obtidos a partir da cana-de-açúcar

2.3.1. Produção de açúcar

Após obtenção do caldo clarificado, este é concentrado de 85% de umidade até aproximadamente 65°Brix, obtendo-se um xarope grosso e amarelado. Para maior eficiência energética, a evaporação ocorre em evaporadores de múltiplo efeito (MACHADO, 2012), nos quais há injeção de vapor vivo somente no primeiro efeito. Nos demais, a fonte de calor utilizada é proveniente do próprio vapor obtido da evaporação de água do estágio anterior, sendo que se utilizam, normalmente, quatro ou cinco estágios (PAYNE, 1989; HUGOT, 1969).

Em seguida, o xarope a 65°Brix segue para a etapa de cozimento para formação da massa. Neste processo são utilizados tachos encamisados que utilizam múltiplos efeitos e trabalham sob vácuo, obtendo-se um xarope com concentração de 93-95°Brix sob uma temperatura de 65 a 75°C. Após o cozimento, a massa cozida segue para os cozedores, também denominados cristalizadores (COPERSUCAR, 1988). Neste processo, o xarope é concentrado em batelada por agitação, resfriamento lento e vácuo até que se atinja a supersaturação. O resfriamento lento sob agitação permite que haja crescimento individual dos cristais até que se atinja a exaustão máxima da sacarose presente no melaço (MACHADO, 2012).

Após o esgotamento do “licor-mãe”, realiza-se a separação dos cristais para obtenção do açúcar. Esta etapa é feita através de um sistema de centrifugação através de turbinas centrífugas, no qual o “licor-mãe” é drenado através dos orifícios de telas presentes no centro da centrífuga e os cristais de sacarose são retidos no interior da tela. Ao produto drenado dá-se o nome de mel ou melaço (MACHADO, 2012), que poderá ser utilizado como alimento ou como matéria-prima para fermentação e produção de etanol.

Após obtenção dos cristais de açúcar apresentam teor de umidade entre 0,5 – 2%. O açúcar deve ser submetido a etapas de secagem para que a umidade atinja nível de 0,1 – 0,2% e sua deterioração seja retardada. O secador de açúcar funciona com insuflação de ar quente em contracorrente com a movimentação do açúcar no interior do secador, o qual não deve ultrapassar 100°C. Após a secagem e

resfriamento, obtém-se o açúcar cristal e este é acondicionado e poderá seguir para a área de refino (MACHADO, 2012; COPERSUCAR, 1988).

Além do açúcar cristal, que é o produto base obtido da maioria das usinas sucroalcooleiras, os principais tipos de açúcar presentes na podem ser obtidos dependendo do tipo de processamento:

Tabela 2. Tipos de açúcar e seu processamento.

Tipo	Descrição
Demerara	Coloração escura, sem etapa de refino. Este tipo de açúcar é obtido em processamento quando não houve sulfitação do caldo e cuja massa cozida não foi lavada na centrifugação, conservando-se a película de mel. Mínimo de 96,0% de sacarose.
Cristal	Todos açúcares brancos produzidos pela usina de açúcar. Fabricado a partir da sulfitação do caldo, que passa por um processo em que os cristais são lavados na centrífuga e secos. Mínimo de 99,3% de sacarose.
Refinado	Puro, sem adição de corantes. No processo de refino são adicionados aditivos químicos, como o enxofre, para dar coloração branca. Mínimo de 98,5% de sacarose.
Mascavo	Açúcar bruto, escuro e com alta umidade. Extraído após o cozimento do caldo de cana. Mínimo de 90,0% de sacarose.

Fonte: VIEIRA; LIMA; BRAGA (2007); BRASIL (1978).

2.3.2. Produção de Etanol 1G

O produto bioetanol refere-se ao etanol obtido através de processos fermentativos a partir de vegetais ricos em açúcar, mas também pode ser obtido a partir de matérias-primas de alto teor amiláceo ou a partir da celulose presente nos resíduos agroindustriais através de processos enzimáticos, resultando na liberação de açúcar que será utilizado para fermentação e produção de etanol (SPITZER et al., 2003). Desse modo, devido ao alto teor de açúcares da cana-de-açúcar, este vegetal é a principal matéria-prima utilizada na produção de açúcar.

Industrialmente, o processo de obtenção de etanol de primeira geração segue as seguintes etapas: recebimento da cana, lavagem, moagem, remoção de

impurezas, fermentação da garapa, destilação, desidratação e armazenamento. O caldo deve ser tratado previamente a etapa de fermentação para remover impurezas. Além disso, pode-se utilizar também uma mistura de melaço e caldo para fermentação (BNDES; CGEE, 2008). Antes de passar pela etapa de fermentação, o mosto deve ser aquecido até 105°C para eliminação de micro-organismos indesejados. Em seguida, o mosto deve ser resfriado até 30°C para ser enviado para as dornas de fermentação (ALCARDE, 2007). Nas dornas ocorre a adição das leveduras e a etapa de fermentação apresenta duração dentre 7 e 12 horas (DUARTE; LOURENÇO; RIVEIRO, 2006).

Após a fermentação, obtém-se o vinho ou vinho fermentado, produto constituído de leveduras, açúcar não fermentado e cerca de 10% de etanol. O vinho é centrifugado para separação das leveduras, que poderão ser reutilizadas em novos processos de fermentação e o produto resultante é encaminhado para a etapa de destilação, no qual é aquecido em colunas de evaporação até a evaporação do etanol, obtendo-se por condensação o etanol hidratado com, aproximadamente, 96°GL. Para obtenção de etanol anidro, deve-se realizar a desidratação do etanol hidratado por métodos como destilação azeotrópica com ciclohexano e uso de zeólitas ou peneiras moleculares (SIMÕES, 2017; NOVACANA, 2016). Os subprodutos obtidos da etapa de destilação são a vinhaça e o óleo de fúsel (ALCARDE, 2007).

2.3.3. Melado

O melado é um produto obtido a partir da concentração do caldo clarificado de cana que apresenta alto valor nutritivo, devido ao alto teor de cálcio, ferro e sais minerais, sendo recomendado como substituto ao açúcar branco, principalmente para o uso diário das famílias e utilização da merenda escolar. O melado também pode ser usado em misturas com diferentes tipos de queijo ralado ou em pedaços, farinha, biscoitos, bolos, ou servido com inhame ou mandioca (PINTO; COELHO, 1983; EMÍDIO, 2016)

É importante ressaltar que existem diferenças entre o melaço e o melado de cana. O primeiro consiste no líquido obtido como resíduo de fabricação de açúcar cristalizado, do próprio melado ou da refinação do açúcar bruto, enquanto que o melado refere-se ao líquido xaroposo obtido a partir da evaporação do caldo-de-

cana ou a partir da rapadura, por meio de processos tecnológicos adequados (BRASIL, 1978).

O melado é obtido a partir da concentração/cozimento do caldo clarificado. É importante garantir que não aconteça cristalização da sacarose no período de estocagem do melado, sendo necessário inverter parte deste açúcar na etapa de concentração. A inversão consiste na hidrólise da sacarose, que se converte em glicose e frutose e é determinada pela temperatura, acidez e concentração de sacarose no xarope. Esta etapa pode ser efetuada a partir da adição de ácido cítrico em solução aquosa a 80% p/v na proporção de 10 a 20 mL por litro de xarope. O “ponto do melado” é obtido entre 106 e 108°C e concentrado até 74 a 78° Brix. Assim, o melado é envasado e está pronto para comercialização (CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS – ELETROBRÁS, 2015).

2.3.4. Rapadura

O doce rapadura constitui-se de um produto sólido, de alta doçura, proveniente da concentração a quente do caldo de cana-de-açúcar clarificado, obtendo-se um produto final em torno de 92° Brix (DE OLVEIRA et al., 2006). De acordo com o Instituto Centro De Ensino Tecnológico (2004), a rapadura é um produto energético e de boa aceitabilidade, o que o faz ser recomendado para a dieta humana devido a sua alta quantidade de carboidratos, sais minerais, proteínas e vitaminas e, além disso, possui uma grande vantagem frente a outros produtos industrializados devido ao seu baixo custo de fabricação.

Após a obtenção do caldo-de-cana clarificado, realiza-se a pré-concentração do caldo em tacho utilizando fervura constante e intensa sob agitação para evaporação da água até que se atinja o ponto de mel. Em seguida, ocorre a concentração do mel até atingir o ponto para batimento, etapa que poderá ocorrer no mesmo tacho ou em até cinco tachos, como ocorre em engenhos mais modernos. O uso de diversos tachos confere ao processo um maior controle da temperatura para concentração do caldo. O final da concentração do mel é atingido quando atinge-se o “ponto de rapadura”, com a temperatura entre 114 e 120°C e 88 a 91°Brix. Em seguida, o mel é transferido para cochos de madeira ou refratários em inox, mexendo-se vigorosamente e jogando-se o mel nas laterais com o auxílio de uma espátula até que se atinja o início da cristalização, que é marcada pela diminuição

do volume do mel. Após esta etapa, coloca-se a rapadura, a qual ainda está em processo de cristalização, em formas de madeira com o formato e porção desejados, devendo ficar em local ventilado por, aproximadamente, uma hora. A umidade do produto final deve estar entre 5 e 10% e, assim, a rapadura poderá ser embalada e comercializada sob temperatura ambiente (DE OLVEIRA et al., 2006; CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS – ELETROBRÁS, 2015).

2.3.5. Caldo de cana - Garapa

De acordo com Lima (1998), a garapa, também conhecida como caldo-de-cana, pode ser considerada como um "suco da cana". Esta bebida é amplamente consumida pelos brasileiros, sendo normalmente comercializada por vendedores ambulantes que possuem moendas para a extração do caldo que, na sua grande maioria, não apresentam condições higiênico-sanitárias adequadas ao processo produtivo (SOCCOL et al., 1990).

Devido às suas características físico-químicas, a produção industrial de garapa engarrafada é de extrema dificuldade. Fatores físicos como a luz e calor, químicos como oxigênio e reações enzimáticas (escurecimento enzimático devido a ação da polifenoloxidase e peroxidase) e biológicos como os micro-organismos são fatores que levam a alterações que podem comprometer as características sensoriais, nutricionais e de segurança da bebida, impactando no *shelf-life* do produto final (GRAUMLICH et al., 1986). Devido a sua composição química, o caldo de cana é um ótimo meio para crescimento de micro-organismos. Em aproximadamente 24 horas sob refrigeração, é possível observar alterações no sabor e aparência do caldo, além de perda de qualidade devido a fermentação dos açúcares, resultando em um produto de alta acidez (YUSOF et al., 2000; BHUPINDER et al., 1991).

Caso haja estocagem dos colmos de cana previamente a extração, esta deve ser efetuada a baixas temperaturas a fim de obter-se uma garapa de melhor qualidade. Yusof (2000) concluiu que a cana pode ser estocada a 10°C por até 9 dias sem que haja perda de qualidade sensorial da garapa. Assim, para o processamento da cana, esta deve ser lavada previamente a extração por método de imersão em solução sanitizante, como o hipoclorito de sódio (NaClO) (KUNITAKE, 2012) e posteriormente encaminhada para a etapa de extração. Logo

após extração do caldo, que normalmente é realizado por moendas elétricas, este adquire coloração escura, fazendo-se necessário efetuar uma estabilização rapidamente. Diferentes métodos de estabilização microbiológica, física e química podem ser aplicados, tais como filtração simples seguido de pasteurização e processos de filtração mais específicos, que, inclusive, dispensam processos térmicos tradicionais, sendo eles a microfiltração, ultrafiltração e osmose reversa (VAN DER HORST; HANEMAAIJER, 1990). Após o processo de tratamento térmico/estabilização, o caldo de cana pode ser envasado em métodos à quente, assepticamente ou em embalagens para posterior esterilização.

De acordo com Suzart (2009), a adoção de tratamentos térmicos convencionais confere sabor de melado ao caldo, afetando sua qualidade sensorial. Segundo a pesquisa de Singh et al. (2002), a utilização de um processo de pasteurização do caldo a 70°C/10 min seguido de adição de ácido cítrico (40 mg/100 mL de caldo), ácido ascórbico (40 mg/100 mL de caldo), 150 ppm de metabissulfito de potássio como conservante, e envase em garrafas de vidro esterilizadas conferiram ao produto uma estabilidade de 3 meses sob refrigeração. Bhupinder, Sharma e Harinder (1991) concluíram que um tratamento térmico por pasteurização a 80°C/10 min seguido da adição de 140 mg/L de metabissulfito de potássio, 3% de suco de limão e 1% de extrato de gengibre foi capaz de conferir uma estabilidade ao produto engarrafado de 24 semanas obtendo boa avaliação sensorial. Yasmin, Masood e Abid (2010) processaram o caldo de cana utilizando os seguintes processos: filtração com pano de musselina, pasteurização a 90°C/5 min, adição de ácido cítrico até que o pH do caldo atingisse 4,3 e envase a quente em garrafas de vidro esterilizadas. Posteriormente, o produto envasado foi processado em água fervente por 25 minutos. Após 120 dias em temperatura ambiente, o produto ainda obteve ótima avaliação sensorial.

Atualmente no Brasil, existem algumas empresas fabricantes de caldo de cana industrializado, como a empresa Kanaí, localizada na cidade de Alumínio - SP e a Acana Bebidas, localizada na cidade de São Carlos - SP.

2.4. Resíduos

De acordo com Alcarde (2017) e Viana (2011) os resíduos obtidos da produção de etanol estão descritos a seguir:

- Bagaço e palha: o bagaço refere-se ao resíduo fibroso obtido a partir das moendas e a palha consiste nas folhas da cana que vêm junto com os colmos. Representam 280 quilos (140kg cada) por tonelada de cana processada;
- Torta de filtro: resíduo da filtração do lodo na produção de açúcar e também na do álcool (clarificação do caldo). Representa de 20 a 40 quilos por tonelada de cana;
- Melaço ou mel final: principal subproduto da indústria açucareira. Representa de 40 a 60 quilos por tonelada de cana;
- Vinhaça: resíduo da destilação do vinho. Representa de 12 a 18 litros por litro de álcool;
- Óleo fúsel: composto de álcoois, furfural, aldeídos, ácidos graxos, entre outros. Representa de 0,05 a 0,2 litros por 100 litros de álcool;
- Álcool bruto: mistura impura de água e álcool. Representa de 1 a 5 litros por 100 litros de álcool.;
- Levedura seca: representa aproximadamente 2,5 quilos por 100 litros de álcool.

O bagaço de cana é constituído, principalmente, por celulose (38,6%), hemicelulose (27,9%) e lignina (17,79%). Este subproduto apresenta-se como uma matéria-prima interessante para a obtenção de produtos de alto valor agregado, tais como o metano, hidrogênio, ácido acético (GUILHERME et al., 2015), etanol de segunda geração, entre outros.

A palha de cana consiste nas folhas e pontas da cana obtidas pelo processo de colheita. Até recentemente, a palha não era um resíduo obtido devido a sua queima no campo, etapa realizada antes da colheita para facilitar a colheita manual. Após a introdução da colheita mecânica no Brasil, o aproveitamento da palha tem sido possível (UNICA, 2012). Os principais destinos para este resíduo são: cogeração de energia elétrica (UNICA, 2011), produção de etanol de segunda geração (BRIENZO, 2010) e como adubo para a própria cana devido aos nutrientes contidos neste (COTRUFO et al., 2009).

Assim, a palha e o bagaço-de-cana consistem na biomassa gerada a partir do processamento deste vegetal. A Figura 3 representa alguns dos produtos que podem ser obtidos a partir da utilização de biomassa.

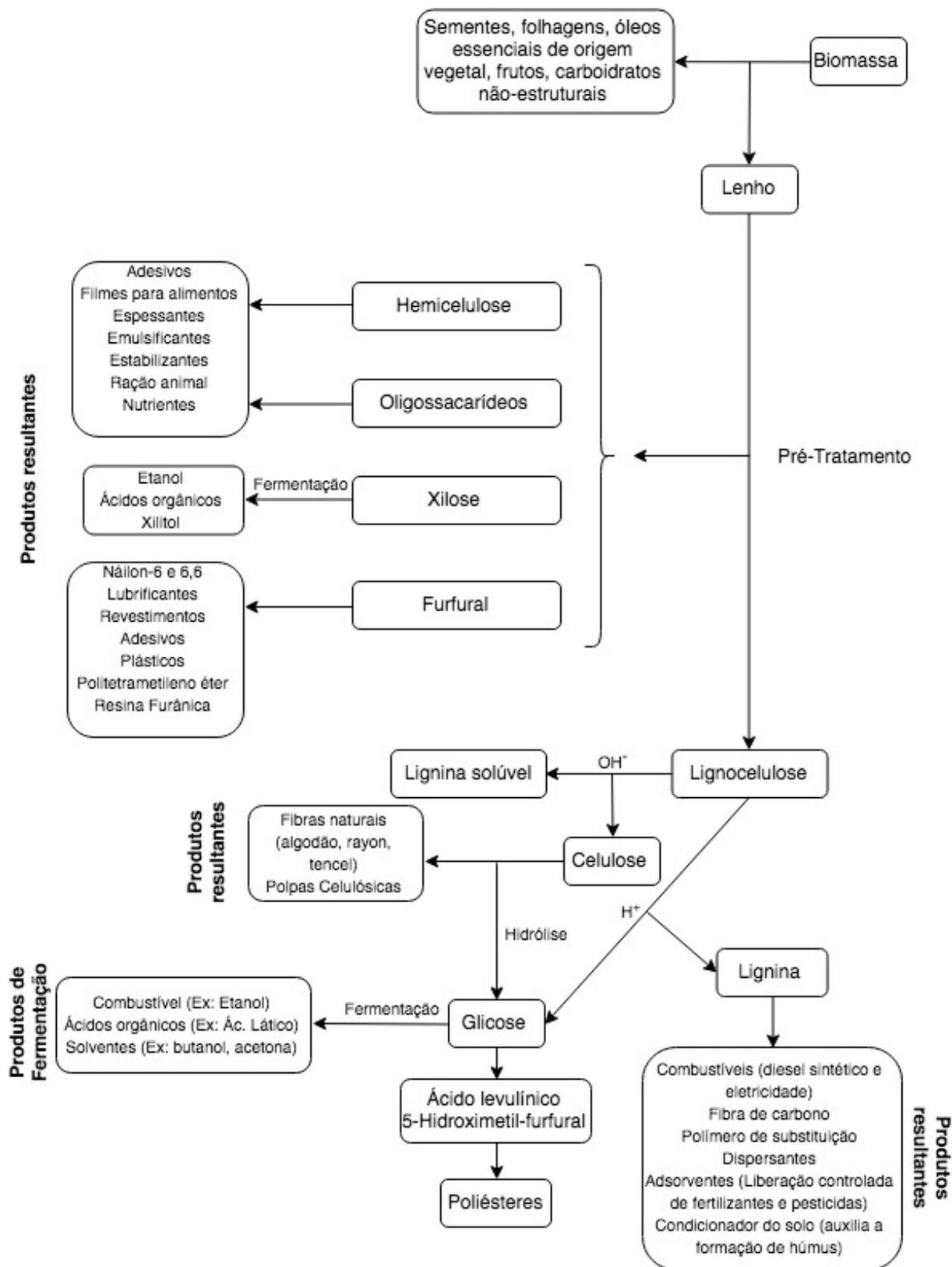


Figura 3. Fluxograma do processamento de biomassa lignocelulósica. Fonte: Adaptado de SILVA (2009), SCHUCHARDT, RIBEIRO, GONÇALVES (2001) e ZHANG (2008).

A torta de filtro é obtida após a filtração do caldo extraído nas moendas do

filtro rotativo. Sua composição é variável, sendo que, aproximadamente, 30% do teor de fósforo apresenta-se na forma orgânica e o nitrogênio em forma proteica, propiciando uma lenta liberação destes elementos, o que garante um alto aproveitamento pelas plantas quando este resíduo é utilizado para adubação (NARDIN, 2007). Além disso, a torta de filtro possui altos valores de matéria orgânica, a qual é benéfica se utilizada na adubação da cana-de-açúcar devido aos seguintes fatores: presença de micronutrientes; presença de minerais que estão menos sujeitos à lixiviação; aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) dos solos onde a torta foi aplicada; maior capacidade de retenção de água, o que é benéfico principalmente nas fases de brotação; fornece melhores condições físico-químicas e microbiológicas para o desenvolvimento do vegetal (PENATTI, 1991). Atualmente, a torta de filtro pode ser utilizada como adubo em plantações (NARDIN, 2007) e como matéria-prima para obtenção de ceras (PATURAU, 1989).

O melaço consiste no resíduo obtido a partir da fabricação de açúcar, sendo utilizado, principalmente, como matéria-prima para fabricação de etanol (JIMENEZ; BORJA; MARTÍN, 2004) devido a sua alta concentração de açúcares fermentescíveis, que serão utilizados como fonte de carbono para o metabolismo dos micro-organismos fermentadores (WALISZEWSKI; ROMERO; PARDIO, 1997).

A vinhaça é um resíduo proveniente da produção de álcool, que pode corresponder de 10 a 15 litros para cada litro de álcool gerado. Este produto consiste em uma solução com matéria orgânica e sais minerais diluídos. Apesar de a vinhaça ser utilizada para irrigação de cana-de-açúcar de uma forma sustentável, apenas parte deste resíduo pode ser utilizado, logo que o seu excesso por ocasionar contaminação do solo. (DIAS et al., 2015; MARTINEZ JIMENEZ, 2016). Segundo Laime et al. (2011), os efeitos nocivos da vinhaça para o meio ambiente são tão grandes que, em média, o resíduo deste produto produzido na fabricação de 10 litros de etanol de primeira geração equivalem a geração de esgoto de cerca de 172 pessoas. Assim, pode-se perceber como se faz necessária a destinação da vinhaça para obtenção de outros produtos menos nocivos ao meio ambiente e que também possam gerar valor.

O termo óleo fúsel é utilizado para designar as frações de álcoois superiores provenientes das várias fases de processamento de purificação do etanol. Os álcoois isobutílico e isoamílico são os compostos principais encontrados no óleo

fúsel (PATIL, 2002). Sua composição varia conforme o material fermentado, sendo um líquido oleoso com odor desagradável com, aproximadamente, 60% de peso de álcoois (WINDHOLZ, 1976), sendo correspondente a fração menos volátil obtida a partir da destilação de etanol (GARCIA, 2008). A utilização do óleo fúsel é muito limitada, mas alguns dos possíveis usos são como agente antiespumante para melação, desnaturação de álcool, promoção da esterificação de seus componentes com ácido acético ou butírico para produção de ésteres com propriedades flavorizantes (KÜÇÜK, 1998).

Os tópicos a seguir descrevem alguns dos possíveis usos dos resíduos obtidos a partir do processamento de cana-de-açúcar.

2.4.1. Produção de Etanol 2G

O bagaço e a palha da cana, resíduos ricos em materiais lignocelulósicos, são produtos que há tempos vinham sendo sub-explorados em processos biotecnológicos. Ultimamente, a conversão de material lignocelulósico em açúcares simples (fermentescíveis) para obtenção de biocombustíveis vem sendo cada vez mais adotada a fim de se obter maiores rendimentos na produção de etanol visando atender à demanda global de combustíveis (BRIENZO, 2010). Assim, ao produto obtido a partir de biomassa vegetal dá-se o nome de etanol de segunda geração (E2G) ou etanol celulósico. Segundo Milanez et al. (2015), o E2G poderá ocasionar em um aumento da produtividade do etanol em até 50% em relação ao nível atual, o que poderá aumentar a competitividade deste combustível quanto àqueles gerados a partir de petróleo.

Para a produção de E2G existem três etapas principais no processo de conversão do material lignocelulósico em etanol, sendo elas: pré-tratamento e sacarificação enzimática da biomassa vegetal para que os açúcares fermentescíveis sejam liberados; fermentação dos açúcares fermentescíveis pela ação de micro-organismos especializados, etapa que também pode ser realizada pela combinação com o processo de Sacarificação e Fermentação Simultâneas (SSF); e recuperação do etanol (destilação) (SILVA, 2009). A Figura 4 exemplifica o processo de obtenção do etanol de segunda geração.



Figura 4. Fluxograma do processo de obtenção de E2G. Fonte: Adaptado de HAHN-HÄGERDAL et al. (2006).

O processo de pré-tratamento é requerido para que a lignina e a hemicelulose sejam separadas da celulose, para reduzir a cristalinidade da celulose e aumentar a porosidade do bagaço, melhorando, portanto, a hidrólise da celulose e o consequente aumento no rendimento de açúcar (KUO; LEE, 2009).

Em seguida, ocorre a hidrólise química ou enzimática para que as frações celulósicas ou hemicelulósicas sejam liberadas na forma de mono ou oligossacarídeos (PALMQVIST; HAHN-HÄGERDAL, 2000). A hidrólise de lignina e hemicelulose resulta na geração de açúcares e subprodutos que podem inibir o processo de fermentação e, portanto, devem ser evitados. A etapa de hidrólise da celulose resulta na formação de glicose e celobiose (OGEDA, 2010).

A terceira etapa consiste na fermentação dos mono e dissacarídeos em etanol pela ação da levedura *Saccharomyces cerevisiae* (OGEDA, 2010), sendo procedida pelas etapas de destilação e purificação/filtração do etanol obtido.

De acordo com análises realizadas pelo Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) utilizando a Biorrefinaria Virtual de Cana-de-Açúcar (BVC) a pedido do BNDES, estima-se que o etanol 2G poderá ser viável a partir de 2020. De acordo com os cálculos realizados, o custo deste combustível é de, aproximadamente, R\$1,50/Litro, enquanto que o etanol de primeira geração (1G) custa, em média, R\$1,15/Litro. No médio prazo, estima-se que o custo do etanol 2G

poderá atingir valores de até R\$0,52/Litro mediante avanços tecnológicos e cenários econômicos. As estimativas da BVC quanto à produtividade do etanol celulósico estão divididas em três patamares, sendo aproximadamente 240 litros/tonelada de material lignocelulósico no curto prazo; 300 litros/tonelada a médio prazo; e 350 litros/tonelada a longo prazo (MILANEZ et al., 2015).

2.4.2. Produção de enzimas

Além da produção de etanol 2G utilizando materiais lignocelulósicos, estes resíduos também podem ser utilizados para a produção de outros compostos químicos de alto valor agregado, tais como enzimas, ácidos orgânicos, aminoácidos e etc (PANDEY et al., 2000).

Fungos como os da espécie *Pleurotus* são eficientes degradadores de materiais lignocelulósicos devido a degradação enzimática da porção lignocelulósica dos resíduos vegetais a partir da ação de enzimas (QINNGHE et al., 2004; PALMIERI et al., 2000). Muitos destes fungos são capazes de realizar a bioconversão desses materiais lignocelulósicos em compostos de fácil assimilação para seu metabolismo, nos quais as enzimas hidrolíticas apresentam alta importância, agindo sinergisticamente na formação de um complexo enzimático formado, principalmente, por celobiohidrolases, beta-glucosidases, endoglucanases e xilanases (VALASKOVÁ; BALDRIAN, 2006).

Nos últimos anos, estas enzimas vêm sendo cada vez mais utilizadas em diversas aplicações industriais, havendo preferência por aquelas que apresentam alta estabilidade, especificidade, rápido crescimento e que são altamente ativas (MENEZES; SILVA; DURRANT, 2009). O mercado brasileiro é um grande importador destas enzimas de uso industrial e a utilização de bagaço para a produção de enzimas hidrolíticas e oxidativas apresenta-se como uma alternativa de menor custo sobre as enzimas comerciais. Além disso, a utilização de bagaço para produção de enzimas apresenta-se como uma ótima alternativa para agregação de valor a este resíduo, bem como para outros tipos de resíduos provenientes da agroindústria, diminuindo, assim, o impacto ambiental ocasionado pela produção destes (MENEZES; SILVA; DURRANT, 2009; VALASKOVÁ; BALDRIAN, 2006).

2.4.3. Bagaço de cana para alimentação animal

A utilização de bagaço de cana para alimentação animal já havia sido documentada em relatos desde 1913, ano no qual mencionava-se o uso deste resíduo como fonte de “volumoso” suplementar aos ruminantes. No Brasil, a alimentação de ruminantes utilizando-se este resíduo vem-se destacado cada vez mais, logo que a utilização do “volumoso” possui baixo risco de utilização devido ao seu baixo custo por massa de matéria seca produzida e a sua disponibilidade em períodos de escassez de pastagem (DE SOUSA PRUDENTE et al., 2013; COSTA et al., 2005).

Os bovinos, entre outros animais ruminantes, necessitam ingerir duas grandes fontes de alimentação, denominadas “volumoso” e “concentrado”. Assim, o bagaço da cana-de-açúcar pode fornecer o suplemento “volumoso” em períodos de estiagem, mas seu uso é limitado devido ao baixo valor nutritivo quando *in natura*, além do seu elevado teor de fibra, rica em lignina. Desse modo, faz-se necessário o tratamento do bagaço de cana-de-açúcar para utilização na dieta de ruminantes a fim de melhorar a qualidade do produto, o qual pode ser efetuado por tratamento físicos, químicos ou biológicos (EZEQUIEL et al., 2005).

O tratamento físico-químico, também denominado auto hidrólise, consiste no tratamento do bagaço a altas temperaturas e pressão, cujo tratamento com ácidos gerados durante o processamento promove o afrouxamento da ligação fibrosa da parede celular, aumentando a digestibilidade do bagaço e tornando-o mais susceptível à degradação pelos microrganismos do rúmen (SOUZA; SANTOS, 2002; NUSSIO; BALSALOBRE, 1993; CASTAÑÓN-RODRÍGUEZ et al., 2015).

O tratamento de hidrólise alcalina consiste em submeter o bagaço com agentes alcalinizantes, aplicados a seco ou dissolvidos em água por períodos pré-determinados antes do fornecimento aos animais. Os álcalis rompem as pontes de hidrogênio da fração fibrosa do bagaço, ocasionando a expansão de moléculas de celulose, tornando-as mais susceptíveis à ação de celulasas, além de provocar o rompimento da ligação entre a hemicelulase e a lignina, o que aumenta a quantidade de açúcares solúveis (MISSIO, 2016; VAN SOEST, 1994; NEIVA et al., 1998).

O tratamento utilizando-se ureia ou amônia também é muito comum e consiste de um método simples, relativamente barato e seguro se comparado aos

demais. Estes compostos não poluem o ambiente, além de serem fonte de nitrogênio não proteico. Favorecem a solubilização parcial da hemicelulose e, conseqüentemente, aumentam a digestibilidade e o consumo de alimento pelos ruminantes, além de funcionarem como um bom agente antifúngico (ROSA; FADEL, 2001; PIRES et al., 2004; CARVALHO et al., 2006; PIRES, 1995).

Além da utilização de bagaço de cana como fonte de fibras para alimentação bovina, alguns pesquisadores avaliaram a possibilidade do seu uso na alimentação de cães e gatos. Pinto (2007) observou que a ingestão de um *blend* contendo 2% de celulose e 12% de fibra de bagaço de cana na dieta de cães resultou na redução da digestibilidade da matéria-seca, matéria-orgânica e energia bruta. Não foram analisados efeitos adversos na qualidade das fezes dos caninos e conclui-se que a adição deste produto na dieta destes animais era possível. Em outro estudo efetuado com gatos, Fischer et al. (2012) concluiu que a adoção de uma dieta suplementada parcialmente com fibra de cana possui potencial para controlar a glicemia em felinos.

2.4.4. Ceras

No processamento da cana, a cera está presente na torta de filtro, resíduo obtido após a filtração do caldo de cana, e sua obtenção se dá por meio da extração com solventes (PATURAU, 1989). Este subproduto é normalmente espalhado sobre o campo para o cultivo da cana-de-açúcar, mas, nos últimos anos, a cera da cana-de-açúcar tem ganhado cada vez mais importância em diferentes áreas industriais, tais como indústria têxtil, alimentícia, farmacêutica, cosmética, química, de embalagens, na medicina, entre outras (TAYLOR, 2000).

A partir da cera obtida da cana-de-açúcar obtêm-se diferentes frações de ácidos graxos (D-003) e álcoois graxos (policosanol), os quais apresentam diversas funções fisiológicas. A fração D003 compõe-se de uma mistura de ácidos graxos saturados de cadeia longa purificados. Estudos primários indicam que esta mistura tem influências positivas em diversos aspectos relacionados a saúde, tais como diminuição do colesterol, proteção contra a oxidação de lipoproteínas do plasma, ação antitrombótica e antiplaquetária (ARRUZAZABALA, 2004; CARBAJAL, 2004; RODRIGUEZ, 2003; MOLINA, 2002).

A cera é normalmente recuperada a partir da extração de lipídios totais por

solvente. Buttar et al. (1999) utilizaram hexano, metanol, entre outros solventes, para efetuar a extração de cera a partir de torta de filtro de cana utilizando o extrator tipo Soxhlet. A torta empregada apresentava 5% de umidade e rendimentos de 8,3% e 20,1% para a extração com hexano e metanol, respectivamente. Em geral, as ceras obtidas apresentam coloração verde escuro devido a alta presença de clorofila. Assim, é necessário que as ceras passem por uma etapa de refino para obtenção de ceras livres de pigmentos. Alguns métodos descritos em literatura utilizam ácidos fortes (sulfúrico, nítrico e crômico), que estão correlacionados a problemas ambientais e, por isso, estão sendo descontinuados (AZZAM, 1986; PATURAU, 1989; WARTH, 1947; PHUKAN; BORUAH, 1999).

2.4.4.1. Obtenção de policosanol

O policosanol é um produto obtido a partir da extração de ceras da cana-de-açúcar. Constitui-se de uma mistura de álcoois com alto peso molecular (24 a 34 átomos de carbono) isolados e purificados a partir da cera-da-cana. Estudos indicam que este produto pode funcionar como agente antiplaquetário, anti-isquêmico, antitrombótico e redutor de colesterol (ROSARIO, 2006). Portanto, o policosanol é um subproduto da cana-de-açúcar que apresenta alto valor agregado devido as suas propriedades funcionais.

Devido a dificuldade e alto custo para a obtenção de uma cera livre de impurezas, estudos ainda estão sendo conduzidos a fim de obter um processamento que apresente um bom custo-benefício.

2.4.4.2. Obtenção de fitoesteróis

Os fitoesteróis da cana estão presentes no seu óleo, podendo ser obtido a partir do fracionamento da cera bruta utilizando acetona ou outro solvente apropriado. O óleo constitui-se de uma mistura de glicerídeos, esteróis, ésteres, ácidos, álcoois graxos livres, hidrocarbonetos e compostos de fósforo e nitrogênio. 20% da composição deste óleo referem-se a fitoesteróis (PATARAU, 1989). De acordo o estudo feito por Oliveira (2011), dentre os 20% de fitoesteróis, 24,2% referem-se a campesterol, 18,8% a estigmasterol, 44,9% a β -sitosterol e 12,1% a outros compostos.

Os fitoesteróis classificam-se como álcoois de origem vegetal e, no óleo de

torta da cana-de-açúcar, estão presentes na concentração de 4 a 8%, dependendo das condições adotadas para o refino do caldo-de-cana. Estes compostos possuem uma ampla aplicação na indústria farmacêutica para obtenção de hormônios, tais como progesterona, pregnenolona, testosterona e outros (ICIDCA, 1999), o que confere a estes compostos um grande valor agregado.

De acordo com a patente nº PI0701341-8 A2 de autoria do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) e da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) (2008), existe um processo de extração de fitoesteróis de cana-de-açúcar utilizando agente extractante em estado supercrítico, sendo que este método também tem a capacidade de extrair policosanol. Neste estado, o fluido possui alto poder de extração devido a excelentes propriedades de transferência de massa e apresenta fácil controle da sua solubilidade pelos parâmetros de processo (temperatura, pressão, etc). Deve-se adotar alta pressão do solvente a ser utilizado, sendo este o dióxido de carbono ou algum outro agente extractante, podendo-se utilizar, simultaneamente, um co-solvente como o etanol, álcool isoamílico, propanol ou outros compostos orgânicos a fim de melhorar a eficiência da extração.

De acordo com os autores desta patente, este processo tem um rendimento de até 4% (p/p) sobre a matéria-prima. Em comparação, métodos tradicionais rendem até 8% (p/p), mas o teor de impurezas que se obtém junto com o composto ativo é muito maior, haja vista que obtém-se cera de cana-de-açúcar.

2.4.5. Produção de xilo-oligossacarídeos

Xilo-oligossacarídeos (XOS) são constituídos de oligossacarídeos de açúcar compostos por unidades de xilose e, industrialmente, podem ser obtidos a partir de materiais lignocelulósicos (LCMs). As aplicações dos XOS variam desde usos na indústria alimentícia, como também na indústria farmacêutica (VÁZQUEZ et al., 2000; VÁZQUEZ et al., 2005). A ingestão de XOS está atrelada a diversos efeitos benéficos à saúde, como a prevenção de cáries dentárias, diminuição das taxas de níveis séricos de colesterol total e de lipídeos, além do estímulo do crescimento de bactérias benéficas ao trato digestivo (MENEZES e DURRANT, 2008). Vázquez et al. (2000) também afirmaram que existem aplicações para os XOS para a produção de fármacos que auxiliam no controle da obesidade e tratamento de infecções gastrointestinais.

Dentre os oligossacarídeos utilizados, destacam-se os XOS devido a sua alta disponibilidade por meio dos abundantes resíduos florestais e agroindustriais, permitindo que seu custo de produção seja baixo se comparado com outros oligossacarídeos. Além disso, os XOS possuem propriedades prebióticas iguais ou até mesmo superiores a demais produtos como fruto-oligossacarídeos (FOS) e isomalto-oligossacarídeos (IOS) (MENEZES; DURRANT, 2008).

Os XOS podem ser obtidos através de tratamento enzimático da hemicelulose presente em resíduos agroindustriais, sendo o bagaço de cana-de-açúcar um dos possíveis substratos para obtenção deste composto (FIGUEIREDO, 2016). Para obter-se os açúcares da celulose e/ou hemicelulose deve ser efetuada uma etapa de pré-tratamento a fim de remover a lignina, seguido de um processo de hidrólise para quebra de polímeros, resultando na consequente liberação de monômeros (MOSIER et al., 2005; BALAT; BALAT, 2008). O processo de hidrólise pode ser conduzido por meio ácido e posterior purificação (OTIENO; AHRING, 2012) ou por um processo em duas etapas. A primeira delas realiza a extração da hemicelulose, a qual pode ser feita por métodos de auto-hidrólise, hidrólise ácida e pré-tratamento em meio alcalino e a segunda etapa baseia-se no processo de hidrólise ácida ou tratamento enzimático da hemicelulase utilizando xilanases (CARVALHO et al., 2013). A Figura 5 apresenta o processo de obtenção de XOS a partir de LCM's.

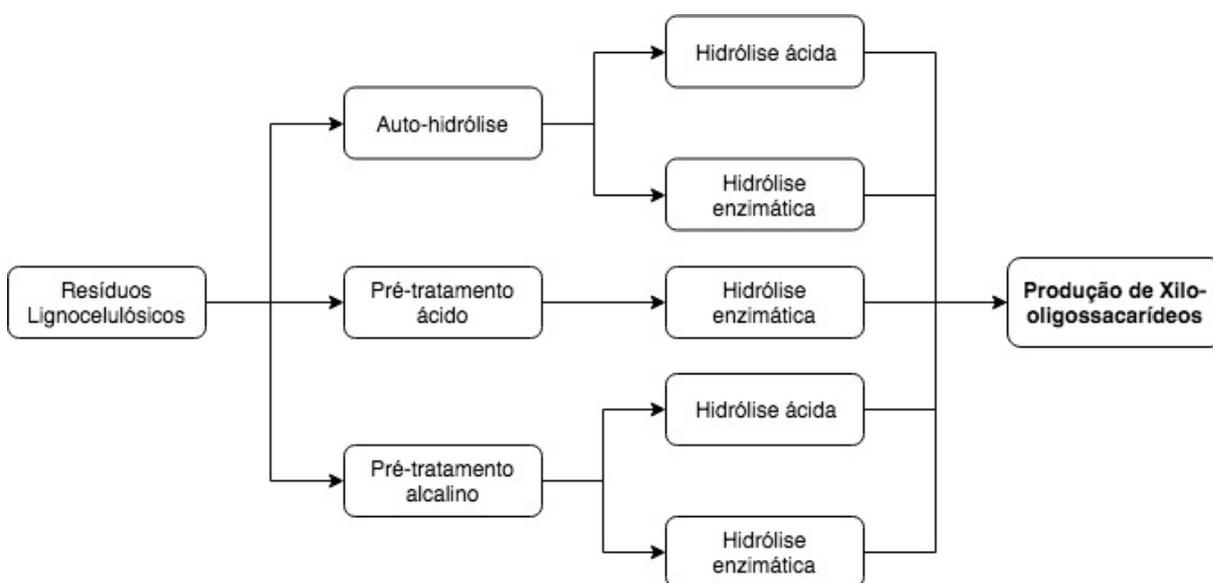


Figura 5. Processo de obtenção de XOS a partir de LCM's. Fonte: Adaptado de CARVALHO apud FIGUEIREDO (2016).

Apesar de ser um processo dispendioso, os XOS podem ser utilizados também para obtenção de xilitol, composto com propriedades adoçantes e outras

funcionalidades (RIVAS et al., 2002) que pode ser utilizado na indústria alimentícia e, inclusive, farmacêutica. O tópico a seguir descreve os processos de obtenção deste composto.

2.4.6. Produção de xilitol

O xilitol é um poliálcool amplamente utilizado na indústria alimentícia devido ao seu poder adoçante, que o permite ser utilizado em alimentos para substituição do açúcar e ao calor de solução liberado quando em contato com a saliva (característica que o faz ser o edulcorante preferido em balas e gomas de mascar) (PEPPER; OLINGER, 1988). Além disso, este composto também apresenta características benéficas à saúde devido ao seu poder inibitório sobre algumas bactérias do gênero *Streptococcus* e *Staphylococcus* (coagulase negativa) (ALMEIDA, 2012), caráter antigênico, (GALES; NGUYEN, 2000), prevenção ou tratamento da osteoporose (MATTILA et al., 1999), entre outros. Na Figura 6 encontra-se o fluxograma de processamento do xilitol.

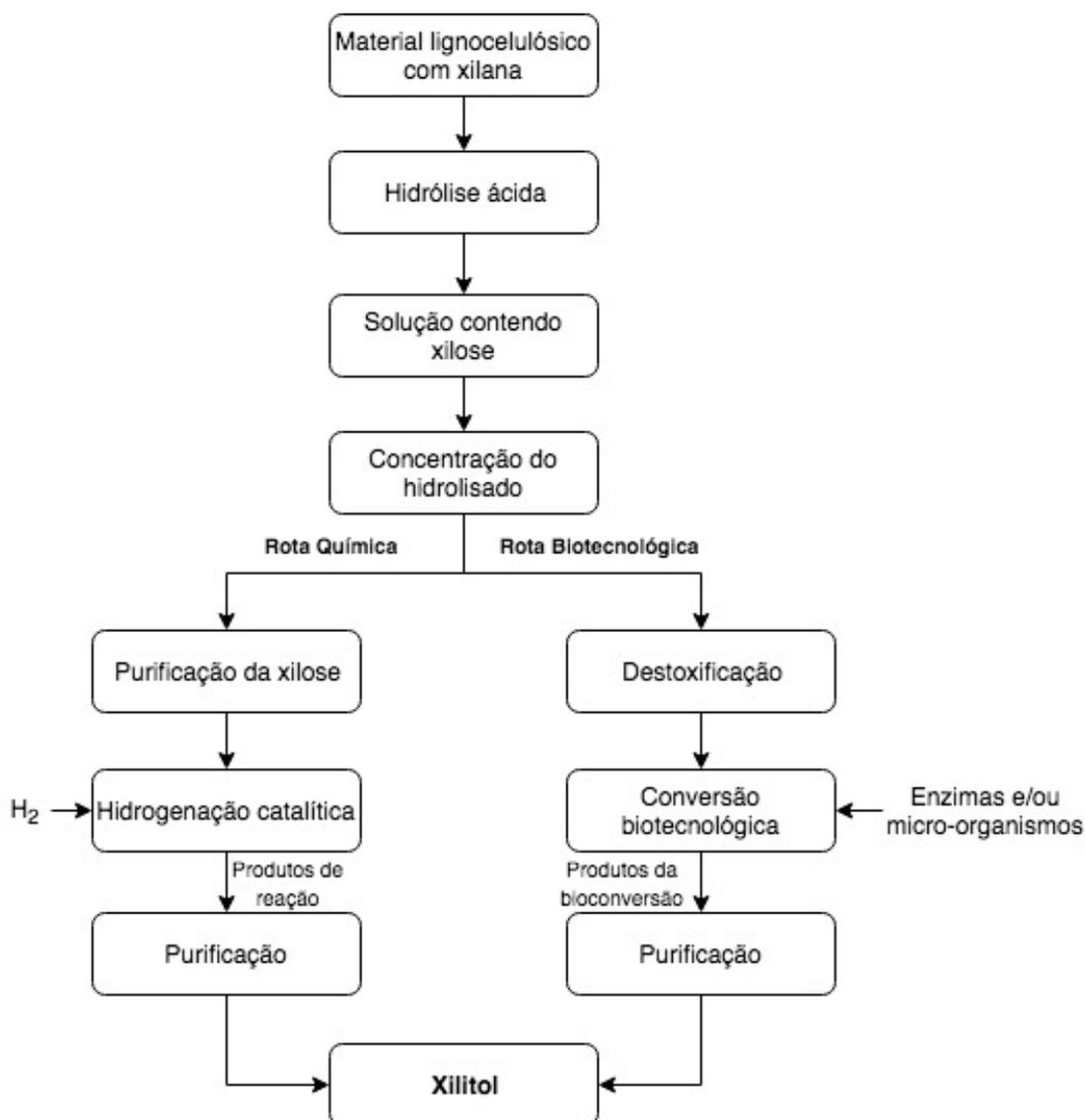


Figura 6. Fluxograma de obtenção de xilitol por processo químico e biotecnológico. Fonte: Adaptado de MUSSATTO; ROBERTO (2002).

O xilitol pode ser obtido por via biotecnológica a partir do uso de micro-organismos em processos fermentativos, obtendo-se um rendimento entre 65 – 85% (BIER et al., 2007), nos quais utilizam-se normalmente bactérias do gênero *Corynebacterium* e *Enterobacter* e leveduras do gênero *Candida* e *Debaromyces* (NÁHLÍK, et al., 2003). As matérias-primas utilizadas devem conter materiais lignocelulósicos, sendo a presença de hemicelulose o componente de interesse para a produção de xilitol (SILVA et al., 2009). Como dito anteriormente, o bagaço de cana obtido como subproduto do processamento de indústrias sucroalcooleiras é um produto rico em hemiceluloses e, assim, o bagaço apresenta-se como uma ótima alternativa para a obtenção deste produto de altíssimo valor agregado.

O processo de obtenção de xilitol começa pela hidrólise ácida da matéria-prima (bagaço) seguindo-se de uma concentração da solução obtida. O hidrolisado obtido deverá passar por uma etapa de destoxificação, logo que o processo de hidrólise ácida produz compostos tóxicos inibitórios para o crescimento microbiano na posterior etapa de fermentação (PARAJO et al., 1998). Em seguida, a xilose obtida segue para a conversão biotecnológica. A obtenção do xilitol por esta via ocorre devido a capacidade dos micro-organismos em expressar a enzima xilose redutase NAD(P)H dependente a qual reduz a molécula de D-xilose a xilitol (ROSEIRO et al., 1991). Em seguida, o produto segue para a etapa de separação/purificação a fim de obter um concentrado de xilitol.

Uma alternativa a obtenção de xilitol por métodos biotecnológicos é a utilização das enzimas envolvidas na bioconversão da xilose a xilitol, também conhecida como conversão biocatalítica. Neste método, a enzima xilose redutase é obtida a partir da lise das células de leveduras por meio de ultrassom e, após esta etapa, as enzimas são conduzidas a um reator de membranas que contém uma solução com xilose. Assim, o xilitol é formado no meio devido a ação da xilose redutase e, após seu acúmulo, este composto será recuperado e cristalizado (DIOGO, 2016).

2.4.7. Geração de energia utilizando subprodutos

Os resíduos obtidos a partir do processamento da cana-de-açúcar podem também ser utilizados para obtenção de energia. Os tópicos a seguir descrevem os processos de obtenção de energia a partir da queima do bagaço/palha da cana-de-açúcar e biodigestão da vinhaça.

2.4.7.1. Queima da palha/bagaço de cana-de-açúcar

Atualmente, a principal utilidade do bagaço de cana está na queima para geração de energia elétrica para a própria usina, a qual é gerada por meio de queima em caldeiras. De acordo com Bosco (2014), uma tonelada de bagaço de cana a 50% de umidade pode produzir, a partir da queima, cerca de 500 kWh de energia.

De acordo com a Unica (2011), a importância da utilização de bagaço de cana

para cogeração de energia refere-se à coincidência entre o período de colheita da cana e a época de seca dos reservatórios das usinas hidrelétricas. Para as usinas sucroalcooleiras, a utilização do bagaço para produção de energia elétrica mostra-se muito favorável devido a localização próxima às cargas, o que reduz custos com a transmissão e distribuição de energia (SOUZA, 2003).

2.4.7.2. Geração de gás metano (biogás)

Devido à sua composição química, a vinhaça apresenta condições favoráveis para a produção de biogás a partir da biodigestão anaeróbia, na qual 1 m³ de vinhaça resulta entre 10 a 15 m³ de biogás. Tal volume de biogás tem a capacidade de gerar, aproximadamente, 169 kWh de bioeletricidade (BNDES; CGEE, 2008).

O processo de digestão anaeróbica consiste na degradação de matéria orgânica na ausência de oxigênio pela ação de micro-organismos, sendo estes anaeróbios ou aeróbios facultativos que realizam reações para obtenção de energia em forma de ATP. Durante a degradação, gases como dióxido de carbono, metano, sulfeto de hidrogênio, hidrogênio, amônia livre e outros compostos como ácidos graxos, biomassa celular, entre outros, são gerados (NOYONO, 2010).

De acordo com Chernicharo (2007), a digestão anaeróbia engloba etapas sequenciais de metabolismo complexo, envolvendo, no mínimo, três grupos fisiológicos diferentes de micro-organismos, sendo eles:

- Etapa 1: hidrólise e acidogênese - atuação de bactérias acidogênicas ou fermentativas. Nesta etapa ocorre conversão de compostos orgânicos complexos (lipídios, carboidratos, proteínas) em compostos simples (ácidos orgânicos, tais como H₂ e CO₂);
- Etapa 2: acetogênese - atuação de micro-organismos acetogênicos ou sintróficos. Conversão de compostos orgânicos intermediários, tais como propionato e butirato em compostos mais simples (CO₂, H₂ e acetato);
- Etapa 3: metanogênese - atuação de micro-organismos metanogênicos. Etapa final do processo com a conversão de acetato e H₂ em CO₂ e CH₄.

As reações de biodigestão anaeróbia ocorrem dentro de digestores que, de forma simplificada, são constituídos pela câmara de fermentação, local onde ocorre a biodigestão da matéria orgânica; saída de gás, a qual pode ou não conter uma

redoma para armazenamento de gás; entrada substrato para digestão; e saída do efluente final gerado no processo (SOUZA, 2000).

2.5. Sustentabilidade da produção da cana-de-açúcar

Com aumento da produção de cana-de-açúcar devido a alta demanda atual por biocombustíveis, deu-se início a diversos dilemas morais/éticos entre alimentos *versus* combustíveis e questionamentos sobre os possíveis impactos ambientais decorrentes da produção de bioetanol a partir de cana-de-açúcar (ROSSILO-CALLE, 2010). O debate sobre a possível disputa entre alimentos *versus* combustíveis não é recente (ROSILLO-CALLE; HALL, 1987), mas vem-se intensificando desde 2007 devido, em partes, ao aumento no preço dos alimentos, o que tem sido atribuído aos biocombustíveis. Existem novas evidências sobre os benefícios globais do uso de biocombustíveis na redução de gases de efeito estufa (GEE), sobre o qual há pouco consenso (ROSSILO-CALLE, 2010).

Segundo Rossilo-Calle (2010), os biocombustíveis têm sido acusados pelo aumento do preço dos alimentos até 2008, mas existem outros pontos que devem ser levados em consideração sobre este assunto. Exemplos como a falta de investimentos na agricultura, especulações, objetivos de curto prazo, injustiça social e pobreza também devem ser contabilizados quanto a análise do aumento no preço dos alimentos. Ainda de acordo com o autor, a competição por terra devido ao aumento da produção agrícola destinada a biocombustíveis é mito, considerando-se que apenas 1% da área total de terras em uso agrícola destina-se a este setor. Segundo Hazel e Wood (2007), a produção de alimentos global é mais do que necessária para alimentar toda a população mundial a preços acessíveis. O problema da fome é que o que ocorre de fato é uma má distribuição de renda e não uma escassez de alimentos.

Em questões relacionadas à sustentabilidade, segundo a ONU – Nações Unidas (2005), este termo refere-se a atividades econômicas englobadas em três pilares, sendo eles a viabilidade econômica, a adequação ambiental e a sua aceitação social.

A cana-de-açúcar tem a capacidade de retirar da atmosfera mais de 50 toneladas de carbono por hectare em sua biomassa, produzindo etanol e, conseqüentemente, acaba por reduzir a emissão de gases estufa à atmosfera devido

a utilização de um combustível renovável (MIRANDA, 2010), características que exemplificam a adequação ambiental da cana-de-açúcar e do principal produto obtido a partir desta. Entretanto, o uso de água na produção de etanol de cana-de-açúcar é um ponto relevante em questões de sustentabilidade. A água pode ser utilizada para irrigação da plantação, a qual é feita normalmente em locais mais secos, como na região Nordeste. Já a necessidade de água nos processos industriais é bem mais significativa e varia de acordo com o sistema adotado. Para usinas que adotam o ciclo aberto (sem reutilização de água), há a necessidade de 21 m³ de água/t de cana (ROSSILO-CALLE, 2010).

Devido ao alto consumo de água na produção de bioetanol de cana-de-açúcar, diversos estudos têm sido conduzidos a fim de tentar minimizar o volume utilizado. Rossilo-Calle (2010) cita as seguintes soluções para redução do consumo industrial de água:

- Substituição do sistema de lavagem com água por sistemas a seco;
- Otimização da etapa de evaporação utilizando a sangria de vapor em seus múltiplos efeitos e aproveitamento do condensado;
- Uso de membranas nas etapas de destilação e desidratação;
- Concentração de vinhaça integrada à destilação pode diminuir sensivelmente a necessidade de água.

Em relação aos biocombustíveis, a viabilidade econômica associa-se tanto a necessidade de apresentarem um preço competitivo em relações aos combustíveis fósseis (gasolina e diesel), mas também à mitigação de emissões de carbono a atmosfera, que serão contabilizadas em dólares por tonelada de gases de efeito estufa que se deixará de emitir em relação a outras alternativas de mitigação. No cenário atual do Brasil, o único biocombustível que apresenta preço de produção inferior ao da gasolina é o do etanol produzido a partir da cana-de-açúcar, sendo que o preço dos barris de petróleo não seja inferior a 45-50US\$/barril. Além disso, uma vez que a emissão de gases de efeito estufa provenientes da combustão do etanol é a mais baixa dentro os biocombustíveis e que esta emissão é muito inferior ao de combustíveis fósseis, a produção e consumo de etanol mostra-se economicamente viável em termos de sustentabilidade (MIRANDA, 2010; IEA, 2004).

No que se refere à dimensão social, a expectativa é que a produção de

biocombustíveis a partir da cana-de-açúcar promova melhorias nas condições de vida e trabalho de pessoas que estão diretamente envolvidas nesta produção (RSB, 2010), sendo estas melhorias relacionadas à maior oportunidade de empregos, condições e legalidade do trabalho e a não indução a conflitos que poderão gerar disputa de terras. A controvérsia sobre o aspecto social do plantio da cana-de-açúcar para geração de biocombustíveis é a sua possível relação com a elevação do preço dos alimentos devido a diminuição da área dedicada ao plantio destes. Entretanto, a geração de combustíveis a partir do resíduo (bagaço) gerado na produção de etanol da cana-de-açúcar com o consequente aumento do rendimento deste processo poderá ser uma das alternativas para diminuir o impacto do plantio de cana sobre o preço dos alimentos (MIRANDA, 2010).

Com o intuito de diminuir o impacto ambiental ocasionado pela produção de cana-de-açúcar, alguns programas de incentivo à sustentabilidade no plantio deste vegetal tem sido realizados. O “Projeto Cana Verde”, iniciado em 1987, é uma iniciativa do Grupo Balbo (detentor das marcas como Copersucar e Native) cujo objetivo principal é realizar um sistema autossustentável de produção de cana-de-açúcar. Este projeto foi o responsável por introduzir no Brasil a colheita de cana por meio mecanizado sem necessidade de queimadas, além de adotar uma cultura com adubação orgânica, adequação de variedades, entre outras (NATIVE, 2017), permitindo que o índice de sustentabilidade tivesse um aumento considerável.

Projetos como os citados anteriormente, além de investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento são de extrema importância para poder melhorar cada vez mais o índice de sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar.

3. CONCLUSÃO

O cultivo da cana-de-açúcar é uma atividade de alta importância na economia brasileira devido, principalmente, à produção do bioetanol. A partir deste vegetal, diversos produtos podem ser obtidos, sendo estes produzidos a partir da cana-de-açúcar como matéria-prima ou a partir do aproveitamento de seus resíduos.

Desse modo, este estudo abordou que os seguintes produtos podem ser obtidos a partir da cana-de-açúcar e de seus resíduos:

- Produtos obtidos a partir da cana-de-açúcar *in natura*: Etanol 1G, açúcar

(cristal, demerara, mascavo, etc), melado, rapadura e garapa pasteurizada.

- Produtos obtidos a partir do bagaço e palha de cana (materiais lignocelulósicos): Etanol 2G, enzimas, ração animal, xilo-oligossacarídeos, xilitol, energia elétrica.
- Produtos obtidos a partir da torta de filtro: ceras, policosanol, fitosteróis;
- Produtos obtidos a partir da vinhaça: biogás.

Portanto, a partir deste trabalho foi possível concluir que, além dos produtos obtidos diretamente a partir da cana-de-açúcar *in natura*, existem diversas aplicações para os resíduos provenientes da indústria sucroalcooleira, que possibilitam não só um aumento na geração de produtos com maior valor agregado, mas também contribuem para a diminuição do impacto ambiental.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, A. R. Árvore do conhecimento – Cana-de-açúcar. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa [online]. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_108_22122006154841.html. Acesso em: 06 out. 2017.

ALCARDE, A.R. Processamento da cana-de-açúcar. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. 2007, Brasília, DF.

ALMEIDA, L.M.A.G. Aplicações otorrinolaringológicas do xilitol. In: SIH, T. IV Manual de Otorrinolaringologia da IAPO, Guarulhos, p.28-3, 2006. Disponível em <<http://www.iapo.org.br/manuals/capa-1.pdf>> . Acesso em 15 de set. de 2017.

ARANGO, E.; VALDÉS S.; GONZALEZ, J.E. Protective effect of D-003 on experimental spinal cord ischemia in rabbits. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids**. 70, p. 1–6, 2004.

ARRUZAZABALA, M.L.; MOLINA, V.; CARBAJAL, D., MAS R. D-003 and warfarin interaction on the bleeding time and venous thrombosis experimentally

- induced in rats. **J Med Food**, Summer; 7(2):260-3. 2004.
- AZZAM, A. M. Further investigations on cane wax refining and bleaching. **Fette Seifen Anstrichmittel**, v.88, n.5, p.191-194, 1986.
- BALAT, M.; BALAT, H.; ÖZ, C. Process in bioethanol processing. **Progress in Energy and Combustion Science**. v. 34, p. 551-573, 2008.
- BHUPINDER, K.; SHARMA, K.P .; HARINDER, K. Studies on the development and storage stability of ready to serve bottled sugarcane juice. **International Journal of Tropical Agriculture**, "s.l." v. 9, n° 2, p.128-134, jun, 1991.
- BIER, M.C.J.; MARANHO, L.T.; AZEVEDO, J.A.M.; DA SILVA, L.S.J. Crescimento e consumo de xilose de *Candida guilliermondii* na fermentação submersa utilizando-se bagaço de cana-de-açúcar. *Evidência*, Joaçaba, 7(2), 119-130, 2007.
- BNDES E CGEE. (Org.). Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Bndes, 2008. 316 p. DC, 2007. Disponível em: .Acesso em: 06 out. 2017.
- BNDES E CGEE. (Org.). Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Bndes, 316 p., 2008.
- BOSCO, J. H. Energia produzida a partir do bagaço da cana-de-açúcar ainda é pouco utilizada no país. 2014. Disponível em: <<http://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/energia-produzidapartir-bagaco-cana-de-acucar-ainda-pouco-utilizada-pais-32595>>. Acesso em: 30 out. 2017.
- BRASIL. Resolução CNNPA n. 12, de 1978. Normas Técnicas Especiais. Diário Oficial da União, Brasília, 23 de julho de 1978. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=16216&word>>. Acesso em: 13 out. 2017.
- BRASIL. Resolução n.12 - CNNPA, de 24 julho de 1978. A CNNPA do Ministério da Saúde aprova 47 padrões de identidade e qualidade relativos a alimentos e

bebidas para serem seguidos em todo território brasileiro. **Diário Oficial da União**. 1978 24 jul; Seção 1.

BRIENZO, M.. Extração da hemicelulose do bagaço de cana-de-açúcar para produção de xilo-oligossacarídeos. 2010. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo, 2010.

BURNQUIST, H. L. O sistema de remuneração da tonelada de cana pela qualidade – CONSECANA./**Preços Agrícolas**, Piracicaba, v./14, n./148, p./14-16, fev. 1999.

BUTTAR, G. S.; PARMAR, S. S.; SINGH, K. An efficacious protocol of wax extraction from filter cake of sugar industry and its chemical analysis. In: **61ST Annual Convention Of The Sugar Technologists Association Of India**, New Delhi. p. 40-44, 1999.

CARBAJAL, D.; ARRUZAZABALA, M.L.; NOA, M.; MOLINA, V.; MÁZ, R.; CARVALHO, G.G.P.; PIRES, A.J.V.; VELOSO, C.M.; MAGALHÃES, A.F.; FREIRE, M A.L.; SILVA, F.F.; SILVA, R.R. E CARVALHO, B.M.A. Valor nutritivo do bagaço de cana-de-açúcar amonizado com quatro doses de uréia. **Pesq Agropec Bras**, 41: 125-132, 2006.

CASTAÑÓN-RODRIGUEZ, J.F.; WELTI-CHANES, J.; PALACIOS, A.J.; TORRESTIANA- SANCHEZ, B.; RAMÍREZ DE LEÓN, J.A.; VELAZQUEZ, G. AND AGULAR-USCANGA, M.G.. Influence of high pressure processing and alkaline treatment on sugarcane bagasse hydrolysis. **J Food**, 13: 613-620, 2015

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (ELETROBRÁS). Fabricação de açúcar mascavo, melado e rapadura: Uso produtivo e eficiente da energia elétrica. **Série Centros Comunitários de Produção**, IICA E21, 51 p., Rio de Janeiro, RJ, 2015.

CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Volume 5 - Reatores Anaeróbios. 2ª Edição, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG), v. 5. 379 p., 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO AGROPECUÁRIO – CONAB.
Cana-de-açúcar. Safra 2016/2017, quarto levantamento. 2017a. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_19_11_27_36_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_16-17.pdf>. Acesso em: 12 set. 2017a.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO AGROPECUÁRIO – CONAB.
Cana-de-açúcar. Safra 2017/2018 primeiro levantamento. 2017b. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_20_14_04_31_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_17-18.pdf>. Acesso em: 12 set. 2017b.

COPERSUCAR, Fundamentos dos processos de fabricação de açúcar e álcool.
Caderno copersucar série industrial, Piracicaba, n. 020, 1988.

CORREIO BRAZILIENSE, 2010. Disponível em <
http://www.correio braziliense.com.br/app/noticia/ciencia-esau de/2010/03/13/interna_ciencia_saude,179434/index.shtml> Acesso em
13 out. 2017.

COSTA, A. K. B. Impacto dos componentes da cana-de-açúcar colhida crua na utilização industrial de açúcar. 2012. 69 p. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos)** - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2012.

COSTA, M. G. et al. Desempenho produtivo de vacas leiteiras alimentadas com diferentes proporções de cana-de-açúcar e concentrado ou silagem de milho na dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, v.34, n.6, p. 2437-2445, 2005

COTRUFO, F.C.; GALDO, I.D.; PIERMATTEO, D. Litter decomposition: concepts, methods and future perspectives. In: KUTSCH, W.L.; BAHN, M.; HEINEMEYER, A. (Ed.). **Soil carbon dynamics: an integrated methodology**. Cambridge: Cambridge University, 2009. p.76-90

CTC - CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP (Brasil). República Federativa do Brasil. Alberto

Shintaku; Maria Angela de Almeida Meireles. Processo de extração de componentes ativos da cera contida na torta de filtro resultante do processamento da cana de açúcar empregando processo de extração supercrítica. BR nº PI0701341-8 A2, 09 abr. 2007, 25 nov. 2008.

DAS NEVES, L.; MODESTO, N. A.; VILELA, L. R. Adoção da gestão da qualidade nas usinas de açúcar e etanol brasileiras. **Paper presented at the XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, Fortaleza, CE, Brasil, 2015. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_207_229_27724.pdf>. Acesso em: 01 de set. de 2017.

DE OLIVEIRA, J. C.; NASCIMENTO, R. D. J. & BRITTO, W. S. F. Demonstração dos custos cadeia produtiva da rapadura: estudo realizado no vale do são francisco. In **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**, 2006.

DE SOUSA PRUDENTE, D.; MASUNAGA, E.; DE MORAES, P. H. G.; DE OLIVEIRA, R. A utilização do bagaço da cana-de-açúcar na composição da dieta no confinamento bovino. **COGNITIO/PÓS-GRADUAÇÃO UNILINS**, Lins – SP, (1), 2013.

DIOGO, J. A. Bioprospecção e construção de hemicelulases para produção de xilose a partir do licor de xilo-oligossacarídeos e sua utilização na produção de xilitol via fermentativa. 2016. 1 recurso online (105 p.). **Dissertação (mestrado)** - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP, 2016. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/254363>>. Acesso em: 15 out. 2017.

DUARTE, J. C.; LOURENÇO, V.; RIVEIRO, B. Continuous culture of flocculent yeast for ethanol production. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, Biotechnology Department, Portugal, 2006.

EMÍDIO, J. E. Hidrólise enzimática na fabricação de melado de cana-de-açúcar. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Agrárias, Araras – SP, 67p., 2016

- EZEQUIEL, J. M. B. et al. Processamento da cana-de-açúcar: efeitos sobre a digestibilidade, o consume e a taxa de passagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, v.34, n.5, p.1704-1710, 2005.
- FIGUEIREDO, F. C. D. Efeito prebiótico de xilo-oligossacarídeos produzidos a partir da hemicelulose de bagaço de cana-de-açúcar utilizando extração alcalina e hidrólise de xilanases fúngicas. **Dissertação (Mestrado)** - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Rio Claro - SP, 66p., 2016.
- FIGUEIREDO, P. Breve histórico da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agrônomo no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônomo, 882p., 2008,
- FISCHER, M.M.; KESSLER, A.M.; SÁ, L.R.M.; VASCONCELLOS, R.S.; ROBERTI FILHO, F.O.; NOGUEIRA, S.P.; OLIVEIRA, M.C.C.; CARCIOF, A.C. Fiber fermentability effects on energy and macronutrient digestibility, fecal parameters, postprandial metabolite responses, and colon histology of overweight cats. **Journal of Animal Science**, 2012.
- GALES, M. A; NGUYEN, T. Sorbitol compared with xylitol in prevention of dental caries. **Ann. Pharmacother.**, v.34, p.98-100, 2000.
- GARCIA, V. Subproduto de destilaria de óleo fúsel: caracterização da composição química e estudo de sua aplicação industrial. 2008. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos)**. Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul - SP, 2008.
- GASIL – Gases e Equipamentos Siltons Ltda. Substituição do enxofre por ozônio. **Recife: Design Express**, 18p., 2004.
- GEOCITIES. Processo de fabricação de açúcar em pó. Disponível em: <<http://br.geocities.com/abgalimtec/acucarpa.html>>. Acesso em: 11 de set. de 2017.
- GRAUMLICH, T.R.; MARCY, J.E.; ADAMS, J.P. Aseptically packaged orange juice

and concentrate: a review of the influence of processing and packaging conditions on quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.34, n.3, p.402-405, 1986.

GUILHERME, A. A. et al. Evaluation of composition, characterization and enzymatic hydrolysis of pretreated sugar cane bagasse. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 32, n. 1, p. 23-33, 2015.

HAHN-HAGERDAL, B.; GALBE, M.; GORWA-GRAUSLUND M.F.; LIDEN, G.; ZACCHI, G. Bio- ethanol – The fuel of tomorrow from the residues of today. **Trends in Biotechnology**, v. 24, 2006.

HAMERSKI, F. Estudo de variáveis no processo de carbonatação do caldo de cana-de-açúcar. **Dissertação de Mestrado**, 148 f. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009

HAZEL, P.; WOODS, S. Drivers of change on global agriculture, *philosophical transactions of the royal society B*. (2008): 363:495-515, 2007.

HUGOT, E. Manual da engenharia açucareira. São Paulo, SP: Mestre Jou, 1977,c1969. 2v., il.

ICIDCA (Instituto Cubano de Pesquisa dos Derivados de Cana de Açúcar). **Manual dos derivados de cana de açúcar**. Brasília: ABIPTI, p.399-404. 1999.

IEA – International Energy Agency. **Biofuels for transport – an international perspective**. Paris, 2004.

INSTITUTO CENTRO DE ENSINO TECNOLÓGICO. Produtor de Rapadura. 2ª ed.rev. Fortaleza, CE, 2004.

JIMENEZ, A. M; BORJA, R.; MARTÍN, A. A comparative kinetic evaluation of the anaerobic digestion untreated molasses and molasses previously fermented *Penicillium decumbens* in batch reactors. **Biochemical Engineering Journal**, Amsterdam, v.18, n.2, p.121-132, 2004.

JOAQUIM, A. P. Estudo das etapas de ativação no processo de benzilação da polpa de medula de bagaço de cana. 1997. **Tese de Doutorado**. Instituto de

Química de São Carlos, Brasil, 1997.

KÜÇÜK, Z; CEYLAN, K. Potential utilization of fusel oil: A kinetic approach for production of fusel oil esters through chemical reaction. **Turk J Chem.** Turquia, nº33, p.289-300, 1998.

KUNITAKE, M. T. Processamento e estabilidade de caldo de cana acidificado (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo), 2012.

KUO, C.-H. AND LEE, C.-K., Enhanced enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse by N-methylmorpholine-N-oxide pretreatment. **Bioresource Technology**, 100: 866–871, 2009.

LAIME, E. M. O. et al. Possibilidades tecnológicas para a destinação da vinhaça: uma revisão. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 5, n. 3, p.1-16, 2011.

LIMA, U.A.L. **Agroindustrialização de frutas**. São Paulo: FEALQ, 151p., 1998.

MACHADO, S. S. Tecnologia da Fabricação do Açúcar. Santa Maria: IFG. 56p., 2012

MARTINEZ JIMENEZ, F. D. Aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira (vinhaça e palha de cana) através da co-digestão anaeróbia termofílica assistida por ultrassom. 2016. 1 recurso online (119 p.). **Dissertação (mestrado)** - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP, 2016.

MARTUCCI, E. T. Tecnologia do açúcar de cana. **Fundação de Pesquisas e Tecnologia**, 243 p., 1983.

MATTILA, P.; KNUUTTILA, M.; KOVANEN, V.; SVANBERG, M. Improved bone biomechanical properties in rats after oral Xylitol administration. **Calcified Tissue Int.**, v.64, p.340-344, 1999.

MENEZES, C. R. DE; DURRANT, L. R. Xilooligossacarídeos: Produção, aplicações e efeitos na saúde humana. **Cienc. Rural**, Santa Maria , v. 38, n. 2, p. 587-592, apr. 2008 . Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0103-84782008000200050&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 07 nov. 2017.

- MENEZES, C. R., SILVA, I. S., & DURRANT, L. R. Bagaço de cana: fonte para produção de enzimas ligninocelulolíticas. **Estudos Tecnológicos**, v. 5, nº1, p.68-78, 2009.
- MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; VALENTE, M. S.; SOUSA, L. C.; BONOMI, A. M. F. L. J.; JESUS, C. D. F. D.; ... & JUNQUEIRA, T. L. De promessa a realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar: uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública. **BNDES Setorial, Rio de Janeiro**, (41), 2015.
- MIRANDA, J. L. Sistemas agrícolas sustentáveis e biodiversidade faunística: O caso da cana-de-açúcar em manejo orgânico e agroecológico. In: CORTEZ, L. A. B. **Bioetanol de cana-de-açúcar – P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Blucher, cap. 15, p. 141 – 149, 2010.
- MISSIO, R. L. Tratamento do bagaço de cana-de-açúcar para alimentação de ruminantes. **Archivos de Zootecnia**, v. 65, n. 250, p. 267-278, 2016.
- MOLINA, V.; ARRUZAZABALA, M.L.; CARBAJAL, D.; MÁZ, R. D-003, a potential antithrombotic compound isolated from sugar cane wax with effects on arachidonic acid metabolites. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential FattyAcids**. 67(1),19-24, 2002.
- MUSSATTO, S. I. & ROBERTO, I. C. Xilitol: edulcorante com efeitos benéficos para a saúde humana. **Rev. Bras. Cienc. Farm.** [online]. vol.38, n.4, pp.401-413, 2002. ISSN 1516-9332. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-93322002000400003>.
- NÁHLÍK, J.; PALATOVÁ, M.; GÍRIO, F.; ROSEIRO, C. Model identification and physiological control of xylitol production using *Debaryomyces hansenii*. 38, 1695- 1705, 2003.

- NARDIN, R. R. Torta-de-filtro aplicada em argissolo e seus efeitos agrônômicos em duas variedades de cana-de-açúcar colhidas em duas épocas. **IAC, Campinas**, v. 39, 2007.
- NATIVE. Projeto Cana Verde. Disponível em: <http://www.nativealimentos.com.br/pt-br/cana-verde/index.html>. Acesso em 17 de out. de 2017.
- NEIVA, J.N.M.; GARCIA, R.; VALADARES FILHO, S.C.; PEREIRA, O.G.; PIRES, A.J.V. & SILVA, H.A. Consumo e digestibilidade aparente de matéria seca e nutrientes em dietas à base de silagens e rolão de milho amonizados. **Rev Bras Zootecn**, 27: 453-460, 1998.
- NOVACANA, Processos de fabricação do etanol. Disponível em: <https://www.novacana.com/etanol/fabricacao/>. Acesso em: 06 de out. 2017.
- NOYONO, S. E. Anaerobic Digestion of Organic Solid Waste for Energy Production. (PhD), Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruher, 2010. (321928539)
- NUSSIO, L.G. & BALSALOBRE, M.A. Utilização de resíduos fibrosos da industrialização da cana-de-açúcar na alimentação de bovinos. **Simpósio Sobre Nutrição de Bovinos**. Piracicaba. Anais. Piracicaba. FEALQ/USP. São Paulo. 127 p., 1993.
- OECD/FAO. OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025: OECD Publishing, 2016.
- OGEDA, T. L.; PETRI, D. F. S.. Hidrólise Enzimática de Biomassa. **Quím. Nova**, São Paulo , v. 33, n. 7, p. 1549-1558, 2010 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422010000700023&lng=en&nrm=iso>. access on 27 Oct. 2017.
- OLIVEIRA, R. S. P. Estudo da viabilidade técnica da produção de biodiesel a partir do óleo de cera de cana-de-açúcar. 2011. 89 p. **Dissertação (mestrado)** - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/256069>>. Acesso em: 7 nov. 2017.

- PALMIERI, G.; GIARDINA, P.; BIANCO, C.; FONTANELLA, B.; SANNIA, G. Induction of laccase isoenzymes in the ligninolytic Fungus *Pleurotus ostreatus*. **Appl and Environmental Microbiology**. 1:920-924, 2000.
- PALMQVIST, E.; HAHN-HAGERDAL, B. Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. I: inhibition and detoxification. *Bioresource Technology*, 74, p.17-24, 2000.
- PANDEY, A.; SOCCOL, C.R.; NIGAM, P.; SOCCOL, V.T.; VANDENBERGHE, L.P.S.; MOHAN, R. Biotechnological potential of agro-industrial residues. II: cassava bagasse. **Bioresource Technology**, 74:81-87, 2000.
- PARAJO, J. C.; DOMINGUEZ, H.; DOMÍNGUEZ, J. M.. Biotechnological production of xylitol. Part 3: Operation in culture media made from lignocellulose hydrolysates. **Bioresource Technology**, v. 66, n. 1, p. 25-40, 1998.
- PATIL, A.G.; KOOLWAL, S.W.; BUTALA, H.D. Fusel Oil: Composition, removal and potential utilization. **International Sugar Journal**. Inglaterra, v. 104, nº1238, p.51-58, 2002.
- PATURAU, J. M. By-products of the Cane Sugar Industry. New York: Elsevier Publishing Company, 1989. 274p.
- PAYNE, J. H. Operações Unitárias na produção de açúcar de cana. São Paulo: Nobel, 1989.
- PENATTI, C.P; DONZELLI, J.L. Uso da Torta de Filtro em cana-de-Açúcar. Piracicaba, 7 p, 1991.
- PEPPER, T., OLINGER, P. M. Xylitol in sugar - free confections. *Food technol.*, v.42, n.10, 1988
- PHUKAN, A. C.; BORUAH, R. K. Extraction and evaluation of microcrystalline wax from press mud waste of the sugar industry. **Separation and Purification Technology**, v.17, p.189-194, 1999.
- PINTO, M.V.P. Utilização digestiva de dietas com diferentes fontes de fibras e determinação de curvas glicêmicas em cães adultos. 2007. **Dissertação (Mestrado em Zootecnia)** Escola de Veterinária da Universidade Federal de

Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

PIRES, A.J.V. Efeito da amônia anidra sobre a conservação e composição químico-bromatológica da quirela de milho (*Zea mays* L.) com alta umidade. **Dissertação (Mestrado em Zootecnia)**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 70 p, 1995..

PIRES, A.J.V.; GARCIA, R.; VALADARES FILHO, S.V.; PEREIRA, O.G.; CECON, P.R.; SILVA, F.F.; SILVA, P.A. E VELOSO, C.M. Novilhas alimentadas com bagaço de cana-de-açúcar tratado com amônia anidra e, ou, sulfeto de sódio. **Rev Bras Zootecn**, 33: 1078-1085, 2004.

PULZATTO, M.E. Ação do fósforo e enxofre na clarificação por sulfodefecação do caldo de cana-de-açúcar. 1995. 77p. **Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos)** – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995.

QINNGHE, C.; XIAOYU, Y.; TIANGUI, N.; CHENG, J.; QIUGANG, M. The screening of culture condition and properties of xylanase by white-rot fungus *Pleurotus ostreatus*. **Process Biochemistry**, 39:561-1566, 2004.

RIVAS, B., et al. Bioconversion of posthydrolysed autohydrolysis liquors: an alternative for xylitol production from corn cobs. **Enzyme and Microbial Technology**. v. 31, p. 431-438, 2002.

RODRIGUEZ, M.D.; GAMEZ R., GONZALEZ J.E.; GARCIA H.; ACOSTA C.P.; GOICOCHEA, E. Lack of developmental toxicity of D-003: a mixture of long-chain fatty acids in rats. **Food Chem Toxicol**, 2003. Jan;41(1):89-93.

ROSA, B. & FADEL, R. Uso de amônia anidra e de uréia para melhorar o valor alimentício de forragens conservadas. **Simpósio sobre Produção e Utilização de Forragens Conservadas**. Maringá. Anais. UEM/CCA/DZO. Maringá. 41 pp, 2001.

ROSÁRIO, C. H. R. Desenvolvimento de um processo para a obtenção de policosanol a partir de cera de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). 2006. 113p. **Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos)** -

Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

- ROSEIRO, J. C.; PEITO, M. A.; GIRIO, F. M.; AMARALCOLLAÇO, M. T. The effects of the oxygen transfer coefficient and substrate concentration on the xylose fermentation by *Debaryomyces hansenii*. **Arch. Microbiol.**, v.156, p.484-490, 1991.
- ROSILLO-CALLE, F. Alimentos versus combustíveis: Podemos evitar o conflito? In: CORTEZ, L. A. B. **Bioetanol de cana-de-açúcar – P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Blucher, cap. 11, p. 101 – 114, 2010.
- ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. Uso de Biomassa para Produção de Energia na Indústria Brasileira. **Campinas**: Unicamp, 2005. 448 p.
- ROSILLO-CALLE, F.; HALL. Brazilian alcohol – food versus fuel, *biomass* 12 (2):277-282, 2009.
- RSB – Roundtable of Sustainable Biofuels. Version 2.0 of Global Principles and Criteria for Sustainable Biofuels Production, 2010. Disponível em: < <http://www.fao.org/bioenergy/28181-06f2c1188624d95fcf3e95e0805d34f3e.pdf>> Acesso em: 15 de set. de 2017.
- SCHLITTLER, L. A. F. S. Engenharia de um Bioprocesso para a Produção de Etanol de Bagaço de Cana-de-açúcar. **Dissertação de Mestrado**. Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Brasil, 2006.
- SCHUCHARDT, U.; RIBEIRO, M.L.; GONÇALVES, A.R.A. Indústria petroquímica no próximo século: como substituir o petróleo como matéria-prima? *Química Nova*, n. 2, v. 24, p. 247-251, 2001.
- SILVA, V. F. N. D. Estudos de pré-tratamento e sacarificação enzimática de resíduos agroindustriais como etapas no processo de obtenção de etanol celulósico. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo, 113p., 2009.
- SIMÕES, E. H. Análises de etanol: medidas de pH e de acidez total. 1 recurso online

(117 p.). **Dissertação (mestrado)** - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, SP, 2017. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/325360>>. Acesso em: 6 out. 2017.

SINGH, D.; CHAUHAN, O. P.; TYAGI, S. M.; BALYAN, D. K. Studies on Preservation of Sugarcane Juice. **International Journal of Food Properties**, v.5, n.1, p.217-229, 2002.

SOCCOL, C.R.; SCHWAB, A.; KATAOKA, C.E. Avaliação microbiológica do caldo de cana (garapa) na cidade de Curitiba. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de alimentos**, v.8, n.2, p.116-125, jul./dez. 1990.

SOUZA, O.; SANTOS, I.E. Aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar pelos ruminantes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Aracaju, Brasil. 2 p. (Comunicado Técnico 07), 2002.

SOUZA, R. M. Estimativa do Potencial Brasileiro de Produção de Biogás através da Biodigestão da Vinhaça e Comparação com outros Energéticos. **Trabalho apresentado no IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Porto Seguro, BA, 2000.

SOUZA, Z. J. Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: entraves estruturais e custos de transação. **Tese (Doutorado em Engenharia da Produção)** Departamento da Engenharia da Produção- UFSCAR - São Carlos, SP, p.163, 2003.

SPITZER, P.; FISICARO P.; SEITZ, S. et al, pH and electrolytic conductivity as parameters to characterize bioethanol. **Accred Qual Assur**, v. 14, p. 671–676, 2009.

SUZART, C. A. G. Desenvolvimento de tecnologia para estabilização física, sensorial e microbiológica de caldo de cana. **Dissertação (mestrado)** - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP, 119p., 2009. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/255528>>. Acesso em: 3 out. 2017

TAYLOR, A. K. From raw sugar to raw materials. Chemical Innovations, November 45-48, 2000.

UNICA – **União das indústrias de cana-de-açúcar**, disponível no site: <http://www.unica.com.br/documentos/documentos/sid/25818107>, 2014.

UNICA, União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Bagaço de cana pode ganhar valor substituindo areia na construção civil. 04/02/2011. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticias/show.asp?nwsCode=%7B4E794FD3-7EC2-403C-A66D-325016046000%7D>>. Acesso em: 19 out. 2017

VALASKOVÁ, V.; BALDRIAN, P. Estimation of bound and free fractions of lignocellulose-degrading enzymes of wood-rotting fungi *Pleurotus ostreatus*, *Trametes versicolor* and *Pictoporus betulinus*. **Research in Microbiology**, 157(2):119-124, 2006.

VAN DER HORST, H. C.; HANEMAAIJER, J. H. Cross-flow microfiltration in the food industry. State of the art. **Desalination**, v. 77, p. 235-258, 1990.

VAN SOEST, P. J. Nutritional ecology of the ruminant. 2 ed. **Comstock Publishing Associates**. Ithaca. 476 p, 1994.

VÁZQUEZ, M.J. et al. Refining of autohydrolysis liquors for manufacturing xylooligosaccharides: evaluation of operational strategies. **Bioresource Technology**, v.96, p.889-896, 2005.

VÁZQUEZ, M.J. et al. Xylooligosaccharides: manufacture and applications. Trends in **Food Science & Technology**, v.11, p.387-393, 2000.

VIANA, L. F. Potencial energético do bagaço e palhiço de cana-de-açúcar, cv. SP80-1842, em área de alambique artesanal. 2011. 103 f. **Tese (Doutorado)** - Curso de Agronomia/fitotecnica. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2011.

VIEIRA, M.C.; LIMA, J.F.; BRAGA, N.M. Setor sucroalcooleiro brasileiro: evoluções e perspectivas. 2007. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Publicacao

es/Consulta_Expressa/Tipo/Livro/200706_11.html>. Acesso em 11 out. 2017.

- WADA, J. K. A. Processo simplificado para obtenção de policosanol a partir de cera de cana-de-açúcar clarificada e purificada. 105p. **Dissertação (mestrado)** - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP, 2008.
- WALISZEWSKI, K. N.; ROMERO, A.; PARDIO, V. T. Use of cane condensed molasses in feeding broilers. **Animal Feed Science Technology**, Amsterdam, v.67, p.253-258, 1997.
- WARTH, A. H. **The Chemistry and Technology of Waxes**. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1947. 519p.
- WINDHOLZ, M. et al., **The Merck Index**. 2.ed. USA, p. 557, 1976
- YASMIN, A.; MASOOD, S., & ABID, H. Biochemical analysis and sensory evaluation of naturally preserved sugarcane juice. **Pak J Biochem Mol Biol**, 43, 144-5, 2010.
- YUSOF, S.; SHIAN, L. S.; OSMAN, A. Changes in quality of sugar-cane juice upon delayed extraction and storage. **Food Chemistry**, v.68, p. 395- 401, 2000.
- ZHANG, Y.H.P. Reviving the carbohydrate economy via multi-product lignocellulose biorefineries. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v. 35, p. 367-375, 2008.