

UNIVERSIDADE SAGRADO CORAÇÃO

ELDER FANTINI

**HIDRÓLISE TÉRMICA DA BIOMASSA DE CANA DE
AÇÚCAR UTILIZANDO PROCESSO DE TROCADOR
DE CALOR DE SUPERFÍCIE RASPADA**

BAURU

2012

ELDER FANTINI

**HIDRÓLISE TÉRMICA DA BIOMASSA DE CANA DE
AÇÚCAR UTILIZANDO PROCESSO DE TROCADOR
DE CALOR DE SUPERFÍCIE RASPADA**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao
Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas
com parte dos requisitos para obtenção do título
de Bacharel em Química, sob a orientação do
Prof. Ms. Carlos Henrique Conte.

BAURU

2012

F216h

Fantini, Elder

Hidrólise térmica da biomassa de cana de açúcar utilizando processo de trocador de calor de superfície raspada / Elder Fantini -- 2012.

24f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Conte

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Universidade Sagrado Coração – Bauru – SP.

1. Biomassa. 2. Hidrólise térmica. 3. Etanol de segunda geração. I. Conte, Carlos Henrique. II. Título.

ELDER FANTINI

**HIDRÓLISE TÉRMICA DA BIOMASSA DE CANA DE
AÇÚCAR UTILIZANDO PROCESSO DE TROCADOR
DE CALOR DE SUPERFÍCIE RASPADA**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas com parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Química, sob a orientação do Prof. Ms. Carlos Henrique Conte.

Bancada examinadora:

Prof. Ms. Carlos Henrique Conte
Universidade Sagrado Coração

Prof. Raúl Andres Martinez Uribe
Universidade Sagrado Coração

Prof. Ms. Alessandra Bizan de Oliveira Stetner
Universidade Sagrado Coração

Bauru, 10 de junho de 2012

RESUMO

Existem muitos estudos em busca de alternativas que sejam viáveis para a substituição de combustíveis fósseis, onde uma grande oportunidade é a produção de etanol de segunda geração a partir da biomassa hidrolisada. Entretanto, as plantas industriais atuais, apresentam dificuldades técnicas e econômicas durante a conversão da biomassa em açúcares fermentescíveis, portanto, tecnologias estão sendo desenvolvidas para superar essas dificuldades. O presente trabalho apresenta um processo de hidrólise térmica do bagaço da cana de açúcar (Biomassa), que se tornar uma alternativa na busca de soluções. Com a utilização de um trocador de calor de superfície raspada, a biomassa é hidrolisada sem causar incrustações no equipamento e com uma economia significativa para o processo, pois, utiliza uma unidade de recuperação de energia. Com o aproveitamento do bagaço de cana de açúcar podemos duplicar a produção de etanol sem aumentar a área de plantação já existente.

Palavras Chaves: biomassa, hidrólise térmica, etanol de segunda geração.

ABSTRACT

There are many studies seeking alternatives that are viable to replace fossil fuels, which is a great opportunity to produce second generation ethanol from biomass hydrolyzate. However, industrial plants have technical and economic hurdles during the conversion of biomass into fermentable sugars nowadays. This way, technologies are being developed to overcome these difficulties. This paper presents a thermal hydrolysis process of sugar cane bagasse (biomass), which becomes an alternative in the search for solutions. With the use of a heat exchanger scraped surface, the biomass is hydrolyzed without causing buildup on the equipment and, a significant saving to the process, therefore, utilizes an energy recovery unit. With the use of sugar cane bagasse is possible to double ethanol production without increase the existing planting area.

Keywords: biomass, thermal hydrolysis, second generation ethanol.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	9
2. JUSTIFICATIVA	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1 Biomassa.....	11
3.1.1 Celulose.....	12
3.1.2 Hemicelulose.....	14
3.1.3 Lignina	15
3.2 Pré-Tratamento da Biomassa.....	16
3.2.1 Hidrólise Térmica por Trocador de Calor de Superfície Raspada	17
3.2.2 Características do Trocador de Calor de Superfície Raspada	18
3.2.3 Fluxograma do Processo Utilizando Trocador de Calor de Superfície Raspada.	19
3.3 Material Hidrolisado na Fermentação	20
4. CONCLUSÃO	21
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema estrutural simplificado das fibras do material lignocelulósico.

Figura 2. Estrutura Química da Celulose.

Figura 3. Componentes da Fração Hemicelulose.

Figura 4. Precursores Primários da Lignina.

Figura 5. Quebra da Biomassa em Celulose, Hemicelulose e Lignina.

Figura 6. Modelo do Trocador de Calor de Superfície Raspada.

Figura 7. Modelo de Raspadores do Trocador de Calor.

Figura 8. Hidrólise Térmica sem Explosão de Vapor.

1. INTRODUÇÃO

O sistema energético internacional é fortemente dependente de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás), sendo que, cerca de 80% do consumo mundial de energia se origina dessas fontes, apresentando um crescimento anual de cerca de 2% em 20 anos, e 3,1% ao ano nos últimos 5 anos (QUÍMICA NOVA, 2010).

Esta é uma situação que merece mudanças não só pela diminuição gradativa das reservas de combustíveis fósseis, mas também pelos efeitos negativos ao meio ambiente resultante do seu uso. A busca por combustíveis alternativos levou alguns países a optar por biocombustíveis, gerando combustíveis líquidos, tais como, o etanol produzido pela fermentação de açúcares (etanol de primeira geração) extraído principalmente da cana de açúcar, do milho, da beterraba, entre outras fontes. Outra via para a produção de etanol é pela hidrólise da biomassa celulósica, com geração de glicose, a qual pode ser fermentada produzindo etanol (etanol de segunda geração) (QUÍMICA NOVA, 2010).

O Brasil está avançando quando se trata de substituir combustíveis fósseis, como a gasolina, por etanol renovável, onde o estado de São Paulo é um dos maiores produtores de cana de açúcar (68% do total das plantações no país) (QUÍMICA NOVA, 2010).

O bagaço de cana no Brasil é sem dúvida, o resíduo agroindustrial obtido em maior quantidade, aproximadamente 280 kg por tonelada de cana moída. Estima-se que a cada ano sejam produzidos de 5 a 12 milhões de toneladas desse material, correspondente a cerca de 30% do total da produção de açúcar e álcool (SILVA, 2007).

2. JUSTIFICATIVA

Desde 1975 até os dias de hoje, o crescente contínuo de produção, já ultrapassa a marca de 21 bilhões de litros de álcool. Estima-se que para 2012 a demanda brasileira de etanol, tanto para o consumo interno como para exportação, estará em torno de 40 bilhões de litros. Para tanto, se faz necessário um aumento na produção de cerca de 50% do volume atual (UFSCAR, 2011).

Além destes valores, há que se computar a produção de açúcar que também deverá ter seu volume incrementado em função da falta do mesmo. Decorrente da utilização da matéria prima para a produção de álcool e açúcar gera-se grande quantidade de bagaço que antes era considerado somente como resíduo do setor sucroalcooleiro (UFSCAR, 2011).

Porém, nos últimos anos pode observar o aumento da participação do setor sucoenergético na matriz energética brasileira principalmente com o acréscimo da geração de energia elétrica através do bagaço de cana de açúcar, alcançando principalmente em virtude da introdução de novas tecnologias do setor (ÚNICA, 2009).

E agora com o aumento da demanda da produção de álcool existem estudos relacionados com aproveitamento do bagaço, esses, visam à produção de álcool através da hidrólise do bagaço de cana de açúcar podendo se tornar uma solução para atender as necessidades futuras.

Este trabalho tem como objetivo mostrar uma alternativa para produção etanol através da biomassa celulósica originária da indústria de açúcar e álcool, utilizando um processo de hidrólise térmica contínua, com uma etapa na qual se usa um trocador de calor de superfície raspada. Esse trocador consiste em um sistema de raspagem que evita incrustações no equipamento. Dessa forma podemos obter um novo método para a produção de etanol classificado como etanol de segunda geração.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Biomassa

O Brasil na condição de maior produtor e exportador no mercado mundial de açúcar e etanol, aliada à necessidade imposta pelo mundo em termos de substituição dos combustíveis fósseis por combustíveis limpos e o fortalecimento da demanda interna, em função basicamente do automóvel “Total Flex”, põe o setor canavieiro em posição de liderança, especialmente, porque as exportações brasileiras para o mercado internacional de etanol aumentaram significativamente até 2010 (BICHBRASILEOT, 2011).

Segundo informações da CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), sobre área plantada com cana de açúcar, houve um aumento de 7 milhões de hectares para 7,8 milhões de hectares na safra de 2008, cuja moagem já teve início nos Estados do Centro-Sul (CONAB, 2010).

O país produz atualmente cerca de 16 bilhões de litros de etanol combustível, o que representa 35% do total mundial. Como hoje apenas um terço da biomassa contida na cana de açúcar é aproveitado para a produção de açúcar e de etanol, o grande desafio é transformar a celulose, que está no bagaço e na palha descartada na colheita, em álcool combustível. Há estudos em andamento que apontam um aumento de etanol combustível de cerca de 15 a 20 bilhões de litros por ano produzido atualmente para 200 bilhões de litros em 20 anos, segundo dados do NIPE (Núcleo interdisciplinar de Planejamento Energético) (BIOCHBRASIL, 2011).

Do ponto de vista energético, biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Atualmente, a biomassa vem sendo cada vez mais utilizada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de co-geração e no suprimento de eletricidade para demandas isoladas da rede elétrica. A co-geração poderá participar do abastecimento de energia elétrica do país de forma complementar a energia hidráulica, responsável por mais de 90% da geração de energia. No período de estiagem de chuvas, quando os reservatórios para fornecimento de energia hidroelétrica estiverem baixos, as unidades industriais da cana de açúcar estarão em pleno funcionamento suprindo assim a necessidade de energia hidráulica (ANEEL, 2011).

Hoje o bagaço de cana tem sido alvo de vários estudos visando seu potencial energético no que diz respeito à geração de energia elétrica, porém, seu uso não está restrito a esse fim. Um vasto campo de utilização, dentre eles na produção de ração animal, na indústria química, na fabricação de papel, papelão e aglomerados, como material alternativo na construção civil, na produção de biomassa microbiana e mais recentemente, na produção de álcool via bagaço e palha (SILVA, 2007).

O bagaço é composto por materiais lignocelulósicos que são formados por estruturas duras e fibrosas, compostas majoritariamente pelos polissacarídeos celulose e hemicelulose (cerca de 70% da massa seca), entremeados por outra macromolécula formada por alcoóis aromáticos, a lignina, aos quais se encontram unidos por ligações covalentes e de hidrogênio (NEUREITER *et al.*,2002). Os materiais lignocelulósicos podem ser visualizados na Figura 1.

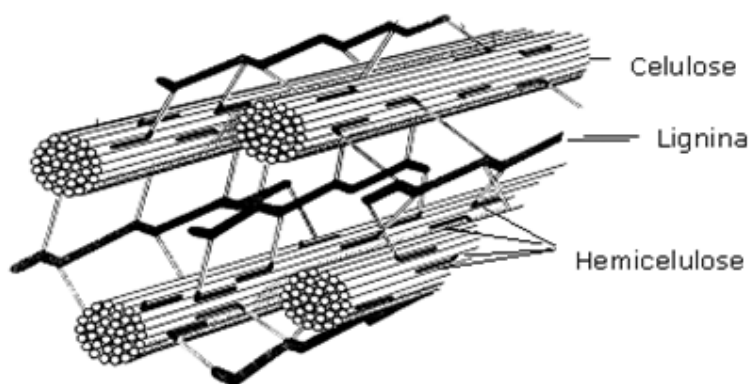


Figura 1 - Esquema estrutural simplificado das fibras do material lignocelulósico

Fonte: (LEE, 1997)

Em menores proporções, e dependendo da origem do vegetal, também podem ser encontrados resinas, ácidos graxos, fenóis, taninos, compostos nitrogenados e sais minerais, principalmente, de cálcio, potássio e magnésio (NEUREITER *et al.*,2002).

3.1.1 Celulose

Da matéria seca da biomassa lignocelulósica 23% a 50% é celulose, um polímero linear que contém até 15.000 unidades de β -D- glicose unidas por ligações glicosídicas β -1,4 carbono-carbono e por ligações de hidrogênio intramoleculares (ligações entre unidades de glicose da mesma molécula) e intermoleculares (entre

unidades de glicose de moléculas adjacentes) conforme mostrado na Figura 2 (ARANTE & SADDLER, 2010).

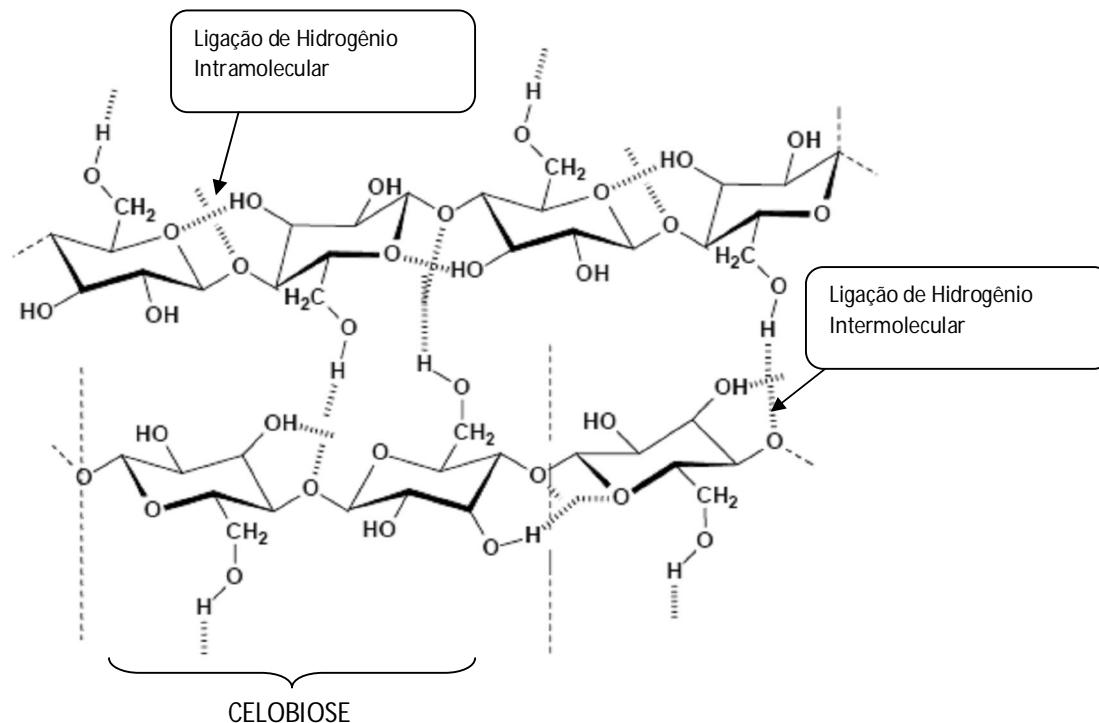


Figura 2 - Estrutura Química da Celulose

Fonte: MORAIS, 2005

As ligações intermoleculares são responsáveis pela rigidez e as ligações intramoleculares são responsáveis pela formação de fibrilas, estruturas altamente ordenadas que se associam formando as fibras de celulose. As fibrilas apresentam desde regiões com elevado grau de cristalinidade, nas quais as cadeias de glicana estão firmemente ligadas em paralelo, até regiões com menor grau de ordenação, chamados de regiões amorfas. Na região cristalina, as fibras têm maior resistência à tração, ao alongamento e a solvatação (absorção de solvente) que na região amorfa, onde a fibra possui sua maior flexibilidade (VÁSQUEZ *et al.*, 2007).

O índice de cristalinidade e o grau de polimerização são propriedades importantes para a classificação dos polímeros celulósicos. O grau de polimerização informa a frequência relativa de ligações glicosídicas internas e terminais,

disponíveis para atuação de celulases. O grau de polimerização pode ser definido com base no número médio de monômeros e no peso médio de polímeros, assim como inferido a partir de sua viscosidade. Já o índice de cristalinidade está associado à reatividade do substrato e pode ser quantificado pelo método de difração de Raio X (D'ALMEIDA, 1988).

Estas características, juntamente com o envoltório de lignina, conferem à macromolécula celulose grande resistência a hidrólise, o que representa um grande desafio para a utilização dos materiais lignocelulósicos em aplicações biotecnológicas, como a produção de etanol de segunda geração (ARANTES & SADDLER, 2010).

3.1.2 Hemicelulose

Do material lignocelulósico seco, 15 à 45% é Hemicelulose, na qual consiste em cadeias ramificadas de açúcares, cujas unidades incluem principalmente aldopentoses, como xilose e arabinose, e aldohexoses, como glicose, manose e galactose. Esta macromolécula contém ainda, ácidos hecurônicos, como os ácidos β -D-glucurônico, D-4-O- metilglucurônico e β -D-galacturânico, e deoxiexoses conforme aparecem na Figura 3. A variedade de ligações e de ramificações, assim como a presença de diferentes unidades monoméricas, contribui para a complexidade da estrutura hemicelulósica e suas diferentes conformações (KOOTSTRA *et al.*, 2009).

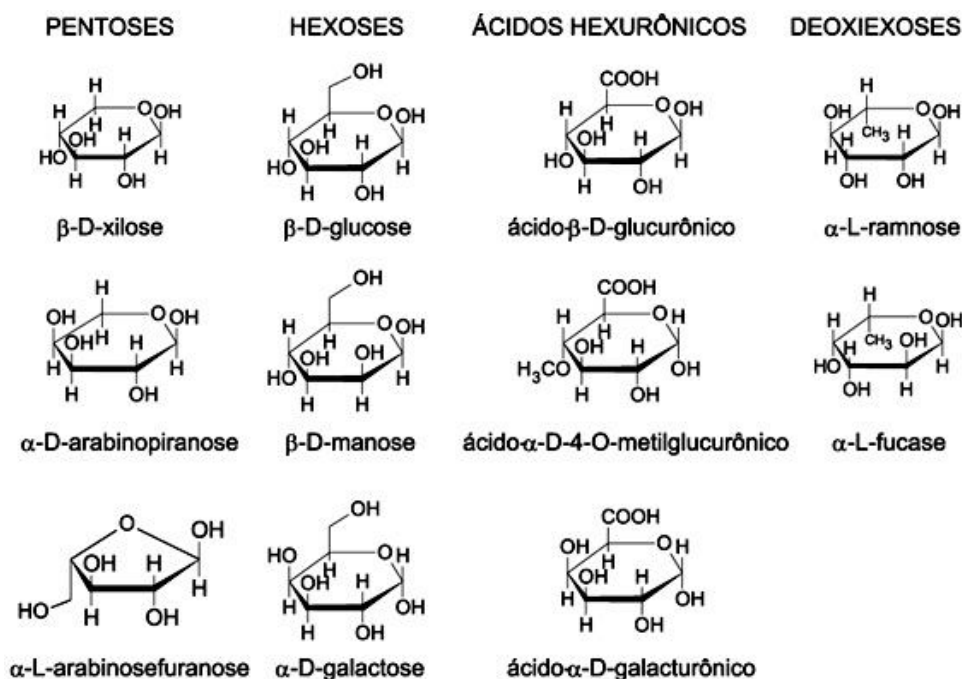


Figura 3 - Componentes da fração Hemicelulose

Fonte: MORAIS, 2005

A hemicelulose diferentemente da celulose, apresenta baixa massa molecular (100 – 200 unidades glicosídicas) e não contém regiões cristalinas, portanto é mais suscetível a hidrólise química sob condições mais brandas. Porém, a fermentação dos açúcares de cinco carbonos (pentoses) ainda não é tão desenvolvida quanto os processos envolvendo a glicose (SUN & CHENG, 2005).

3.1.3 Lignina

Na estrutura bioquímica da fração lignina (10% a 30%) não está relacionada a moléculas simples de açúcar, não sendo pretendida por isso, para a produção de bioetanol por rotas fermentativas. Essa fração, no entanto, desempenha um papel fundamental para o sucesso da tecnologia de hidrólise, uma vez que dificulta o acesso à celulose. A estrutura da lignina apresenta forma tridimensional e é formada por unidades de p-propilfenol, com substituintes metoxila no anel aromático, unidas por ligações do tipo éter e que estabelecem ligações cruzadas entre si. Esta macromolécula é formada pela polimerização de três diferentes monômeros: álcool cumárico, álcool coneferílico e álcool sinapílico, conforme a Figura 4 (LEMOS, 2001).

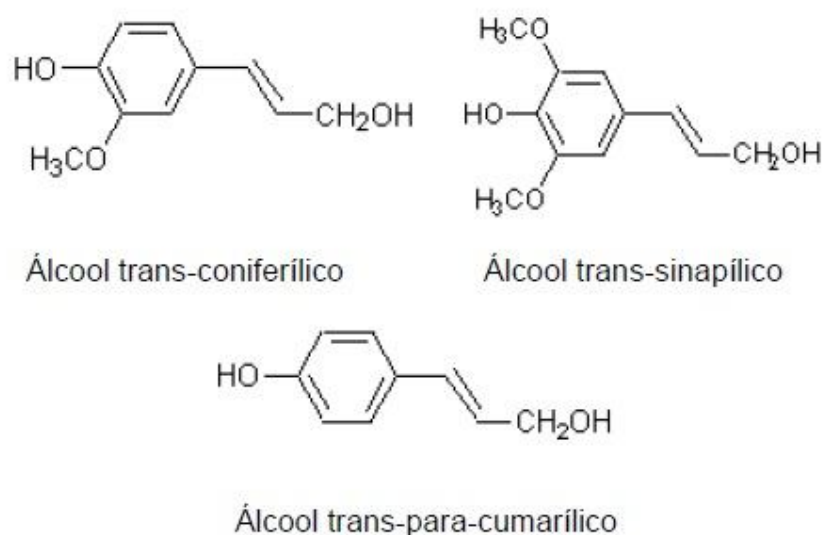


Figura 4 - Precursores primários da Lignina

Fonte: D'ALMEIDA, 1988

A lignina apresenta um dos maiores estoques de carbono/energia da natureza e é o maior depósito de estruturas químicas aromáticas, constituindo uma fonte potencial de valiosos insumos para a indústria química. Apesar de ser possível produzir diversos produtos com base na lignina, atualmente o foco de seu estudo tem se voltado para o uso desse material como fonte de energia para processos, o que garante a auto suficiência e, eventualmente, até a possibilidade de exportar algumas energias elétricas excedentes. Naturalmente, essa situação é positiva tanto para a viabilidade econômica da tecnologia quanto para os quesitos ambientais, já que reduziria a dependência por recursos fósseis externos (PEREIRA Jr. *et al.*, 2008).

3.2 Pré-Tratamento da Biomassa

As peças de celulose e hemicelulose da biomassa são a matéria-prima para a produção de etanol. A lignina é um material cristalino que se concentra em volta da celulose e é uma barreira que deve ser quebrada. A celulose e a hemicelulose são polímeros formados a partir de açúcares. Quando quebrados em pedaços menores melhora a obtenção do etanol a partir deles. Portanto, um método de pré-tratamento é necessário que quebre a barreira de lignina e rachaduras das cadeias de celulose conforme pode ser visto na Figura 5 (HRS, 2012).

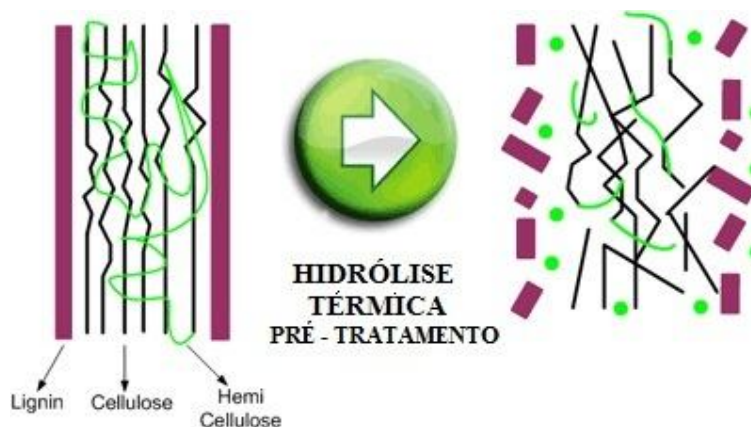


Figura 5 - Quebra da Biomassa em Celulose, Hemileculose e Lignina

Fonte: HRS, 2012

O pré-tratamento desorganiza a estrutura da biomassa celulósica, beneficiando o trabalho das enzimas que atuam na conversão de carboidrato em açúcares.

3.2.1 Hidrólise Térmica por Trocador de Calor de Superfície Raspada

Uma boa maneira pra quebrar a estrutura da biomassa é utilizando um processo térmico, chamado de hidrólise térmica. Onde, aquecimento, altas pressões e temperaturas entre 150 à 170°C, rompem as estruturas celulares. O problema com o aquecimento da biomassa a temperaturas tão altas são as incrustações nos equipamentos, pois, quando a mesma é exposta a essas temperaturas de aquecimento, as proteínas, açúcares e outros tipos de componentes se decompõem, e queimam nas superfícies de aquecimento do trocador de calor (HRS, 2012).

A empresa HRS *Hert Exchangers* com a criação de um trocador de calor de superfície raspada resolveu esse problema, esse trocador de calor aquece a biomassa sem causar incrustações. Esse equipamento pode ser observado na Figura 6 (HRS, 2012).



Figura 6 - Modelo do trocador de calor de superfície raspada

Fonte: HRS, 2012

Os raspadores são movidos para frente e para trás por ação hidráulica. A ação de raspagem tem duas ações importantes, o movimento de vaivém dos raspadores limpa a superfície de troca de calor, isto mantém elevada a transferência de calor e reduz o tempo como à limpeza do equipamento na parte interna e também com o movimento de raspagem criam-se turbulências no fluido e a transferência de calor aumenta. (HRS, 2012).

3.2.2 Características do Trocador de Calor de Superfície Raspada

Conforme a empresa HRS 2012, o trocador de calor consiste em três partes principais:

Peça de concha e tubo: Dentro de cada tubo interior um par de raspador é montado.

Câmara de separação: Este espaço separa a casca e tubo do trocador de calor, do cilindro da unidade que move as barras raspadoras.

Cilindro: Esta parte fornece a energia que move as barras raspadoras. O cilindro pode ser pneumático (modelos menores) ou hidráulico (modelos maiores).

O sistema de raspagem é constituído por hastes de aço inoxidável, vários tipos de raspadores foram desenvolvidos conforme Figura 7 (HRS, 2012).

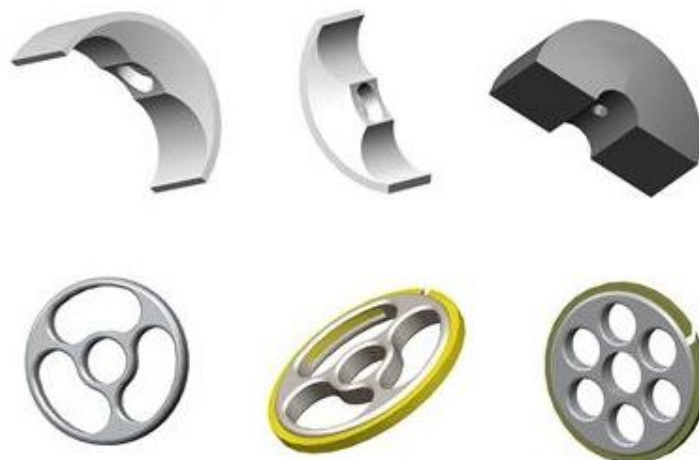


Figura 7 – Modelo de Raspadores do Trocador de Calor

Fonte: HRS, 2012

3.2.3 Fluxograma do Processo Utilizando Trocador de Calor de Superfície Raspada.

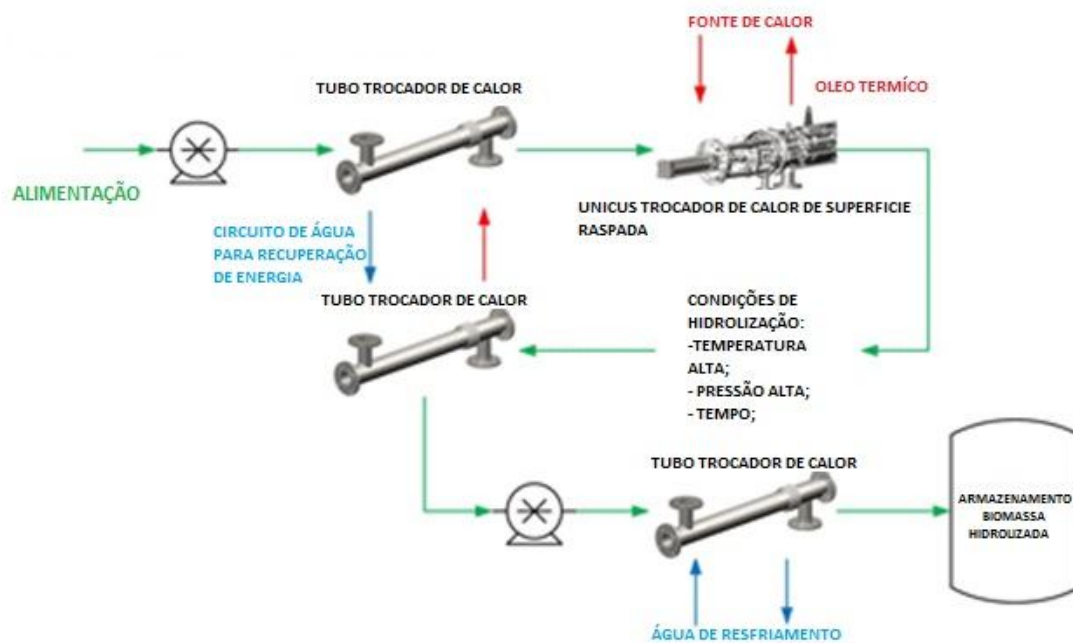


Figura 8 - Hidrólise térmica sem explosão de vapor

Fonte: HRS, 2012

A biomassa em primeiro lugar é pré-aquecida, essa fase utiliza-se a recuperação de calor da biomassa de saída, em seguida recebe um aquecimento maior que ocorre por troca de calor com auxílio do óleo térmico, chegando á alta temperatura e pressão elevada, a fim de alcançar a hidrólise térmica, ou seja, a quebra de seus compostos da estrutura. A biomassa é então pré-resfriada em um estágio de recuperação de energia, essa recuperação acontece com a entrada de água em temperatura ambiente trocando calor com a biomassa que após concluir o processo de hidrólise sai quente e finalmente resfriada para obter a biomassa hidrolisada, essa, depois é armazenada para posteriormente ser fermentada e dar continuidade até originar-se etanol (HRS, 2012).

Esse processo hidrolisa a biomassa com eficiência térmica sem causar incrustações no equipamento, além disso, é possível a utilização da unidade com recuperação de calor, transferindo o calor a partir da biomassa de saída quente para a biomassa de entrada fria, produzindo economia significativa para o processo (HRS, 2012).

3.3 Material Hidrolisado na Fermentação

Tanto para a produção de etanol de primeira geração, a partir da cana de açúcar, quanto o de segunda geração a partir de Biomassa de composição lignocelulósica, a via fermentativa é a via mais importante para a obtenção do álcool etílico no Brasil (PEREIRA Jr. *et al.*, 2008).

Durante o processo de hidrólise são gerados dois tipos de açúcares: as pentoses e as hexoses. O xarope açucarado obtido após a hidrólise é usado para fermentação alcoólica, a maioria dos microrganismos utilizados nos processos de fermentação alcoólica pertence à espécie *Saccharomyces cerevisie*, só não são capazes de converter hexoses (açúcares compostos por 6 carbonos) em etanol (MARIS *et al.*, 2006)

Conforme Chandel *et al.* (2007) as leveduras mais promissoras capazes de fermentarem não só as hexoses, como também as pentoses (açúcares compostos por 5 carbonos), seriam *Phichia Stipitis*, *Candida Chehatae* e *Pachysolan Tannophilus*.

4. CONCLUSÃO

A busca de alternativas para substituição do combustível fóssil se faz necessária em função da possível escassez de petróleo e pelo aumento gradativo do consumo do etanol. Seria essencial, portanto, a disponibilidade de combustíveis de segunda geração, ou seja, que aproveitem por meio de tecnologias avançadas a biomassa de cana de açúcar.

O bagaço de cana de açúcar é um resíduo com alta concentração de carboidratos, disponível em grande quantidade e baixo custo no setor sucroalcooleiro. Com essas qualidades esse subproduto pode se tornar uma fonte alternativa para aumentar a produção de etanol, sem aumentar a ocupação de terras usadas na plantação de cana de açúcar.

A utilização da Hidrólise térmica da biomassa está se tornando uma alternativa para suprir a necessidade da demanda mundial de consumo de etanol. Com a utilização do trocador de calor de superfície raspada tende a duplicar a produção de etanol utilizando seu próprio resíduo, esse trocador é diferenciado, pois, é constituído por um sistema de raspagem onde evita incrustações no equipamento, o processo não necessita de muita água e recupera sua própria energia para auxiliar no aquecimento da biomassa, com isso produz uma economia significativa para tornar o processo viável.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. – **Biomassa**, (2011). Disponível em:< [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)>. Acesso em: 11 de Nov de 2011.

ARANTES, V. & SADDLER, J.N.(2010). **Access to cellulose limits the efficiency of enzymatic hydrolysis: the role of amorphogenesis. Biotechnology for Biofuel**. Disponível em www.biotechnologyforbiofuels.com/content/3/1/4. Acesso em: 11 de Fev de 2012.

BICHBRASILEOT. – **Alcool de Celulose**, (2011). Disponível em: <http://www.bichbrasileot.bio.br/2007/04/03/alcool-de-celulose/>>. Acesso em: 11 de Nov de 2011.

CHANDEL, A.K.; ES, C.; RUDRAVARAM, R.; NARASU, M. L.; RAO, L. V.; RAVINDRAS, P.(2007). Economics and environmental impacts of bioethanol production Technologies: na appraisal. **Biotechnology and Molecular Biology Review**, Nairabi, v.2, p. 14-32.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2010). **Avaliação da safra agrícola de cana de açúcar. Brasília**. Disponível em:< www.conab.gov.br/>. Acesso em: 12 de Nov de 2011.

D'ALMEIDA, M.L.O. (1988). **Composição química dos materiais lignocelulósicos. In: Celulose e Papel, Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica**, Brasil, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT-, 2º Edição, v. 1, Capítulo III, p. 45-106.

HRS – HEATEXCHANGERS.(2012) **Hidrólise Térmica para Biocombustíveis de segunda geração**. Disponível em: <http://www.hrs-heatexchangers.com/pt/aplicacoes/biocombustiveis/biomassa-de-hidrolise-termica-do-biogas-biocombustiveis-bioetanol-2-3.aspx>. Acessado em: 22 Mar de 2012.

KOOTSTRA, A.M.J.; BEEFTINK, H.H.; SCOTT. E.L.; SANDERS, J.P.M. (2009) **Optimization of the dilute maleic acid pretreatment of wheat straw**.

Biotechnology for Biofuels. v. 2, n. 31. Disponível em www.biotechnologyforbiofuels.com/content/2/1. Acesso em: 10 Jan de 2012.

LEE, J. (1997) **Biological conversion of lignocellulosic biomass to ethanol,** *Journal of Biotechnology.* v. 56, p. 1-24.

LEMOS, J.L.S. (2001). **Estudo da produção de xilanases por *Aspergillus awamori* em bagaço de cana.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químico e Bioquímicos. Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MARIS, A. J. A. van; ABBOTT, D. A.; BELLISSIMI, E.; BRINK, J. van den; KUYPER, M.; LUTTIK, M. A. H; WISSELINK, H. W.; SCHEFFERS, W. A. ; DIJKEN, J. P. van; PRONK, J.T.(2006) Alcoholic fermentation of carbon sources in biomass hydrolysates by *Saccharomyces cerevisiae*. Current status. **International Journal of General and Molecular Microbiology.** New York, v. 90. N.4.

MORAIS, S.A.L.; NASCIMENTO, E.A.; MELO, D.C. (2005). **Chemical analysis of *Pinus oocarpa* wood PARTE I – quantification of macromolecular components and volatile extractives.** Revista Árvore, v. 29, n. 3, p. 461-470.

NEUREITER, M.; DANNER, H.; THOMASSER, C.; SAIDI, B.; BRAUN, R. (2002). **Dilute-acid hydrolysis of sugarcane bagasse at varying conditions.** *Applied Biochemistry and Biotechnology,* v. 98, p. 49-58.

OLSSON, L.; SOERENDEN, H.R.; DAM, B.P.; CHRISTENSEN, H.; KROGH, K.M; MEYER, A.S. (2006). **Separate and simultaneous enzymatic hydrolysis and fermentation of wheat hemicelluloses with recombinant xylose utilizing *Saccharomyces Cerevisiae*.** *Applied Biochemistry and Biotechnology,* v.129-132, p.117-129.

PEREIRA Jr., N.; COUTO, M.A.P.G.; SANTA ANNA, L.M.M. (2008). **Biomass of lignocellulosic composition for fuel ethanol production and the context of biorefinery.** In *Series on Biotechnology,* Ed. Amiga Digital UFRJ, Rio de Janeiro, v.2, 45 p.

QUÍMICA NOVA (2010)– **Hidrólise Enzimática de Biomassa**. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422010000700023&script=sci_arttext. Acesso em: 10 de Jan de 2012.

SÁNCHEZ, O.J & CARDONA, C.A. (2008). **Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks**. *Bioresource Technology*, v.99, p. 5270-5295.

SILVA, V.L.M.M., GOMES, W.C., ALSINA, O.L.S. (2007) **Utilização do bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos**. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v.2, (1), p. 27-32.

SUN, Y. & CHENG, J.J. (2005). **Dilute acid pretreatment of rye straw and bermudagrass for ethanol production**. *Bioresource Technology*, v. 96, p. 1599-1606.

ÚNICA. **Estudos matriz energética**, (2009). Disponível em: http://www.unica.com.br/Downloads/estudosmatrizenergetica/pdf/MATReenerget_FINAL_WEB.pdf. Acessado em Jan. de 2012

USCAR. **Apresentação**, (2011). Disponível em: <http://www.mta.ufscar.br/apresentacao>. Acessado em Fev. de 2012

VÁSQUEZ, M.P.; DA SILVA, J. N. C.; DE SOUZA Jr., M.B.; PEREIRA Jr., N. (2007). **Enzymatic hydrolysis optimization to ethanol production by Simultaneous Saccharification and Fermentation**. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 137-140, issues 12.