

# PRODUÇÃO DE FIBRAS TEXTEIS A PARTIR DA CELULOSE DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

S. M. Costa<sup>1\*</sup>; A. Pessoa Jr.<sup>1</sup>; P. G. Mazzola<sup>1</sup>, P. O. Magalhães<sup>2</sup>, S. O. Rogero<sup>3</sup>;  
S. A. Costa<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo/USP - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Dept. Tecnol. Bioquímico-Farmacêutica, Avenida Prof. Lineu Prestes, no. 580, Bloco 16, Cidade Universitária, CEP: 05508-000, São Paulo - SP, Brasil. sirlene.maria.costa@terra.com.br

<sup>2</sup>Universidade de Brasília, Faculdade de Ciências da Saúde, Curso de Ciências Farmacêuticas

Campus Universitário Dary Ribeiro, Asa Norte, CEP: 70910900

<sup>3</sup>Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares – IPEN - CNEN/SP

Avenida Lineu Prestes, 2.242 – Cidade Universitária – CEP: 05508-900 -

São Paulo, SP, Brasil,

<sup>4</sup>Universidade de São Paulo/USP - Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Curso de Bacharelado em Têxtil e Moda, Campus USP-Leste.

Av. Arlindo Bétio, 1000, Parque Ecológico do Tietê, Ermelino Matarazzo, CEP: 03828-080, São Paulo – SP, Brasil.

## RESUMO

A utilização de recursos renováveis no desenvolvimento de novos materiais tem atraído a atenção de pesquisadores de todo o mundo. Este trabalho abordou a utilização do bagaço de cana-de-açúcar um resíduo da indústria sucroalcooleira para obtenção de fibras têxteis. A celulose do bagaço foi obtida pelo processo de polpação soda/antraquinona (AQ). As reações de polpação foram realizadas utilizando 4,5 g de palha de cana e solução de NaOH 20,64% (m/v) (16% de Na<sub>2</sub>O ativo). As polpas obtidas foram submetidas a uma sequência de branqueamento utilizando peróxido de hidrogênio para remoção de lignina residual. A celulose do bagaço de cana e comercial foram utilizadas para produção de fibras utilizando óxido de N-metilmorfolina (NMMO) e água. As fibras obtidas foram analisadas quanto a capacidade de absorção de água, perda de massa e citotoxicidade. Todas as fibras obtidas de celulose comercial, de bagaço e mistas apresentaram capacidade de absorção de água na faixa de 60 – 86%. O perfil de perda de massa na foi na faixa de 2,5 – 26% em 30 dias.

**Palavras chave:** Bagaço de cana-de-açúcar, Celulose, Fibras têxteis, Liocel.

## 1. INTRODUÇÃO

As tendências mundiais para o avanço científico e tecnológico na área de novos materiais destacam a importância da utilização de resíduos industriais e agroindustriais como matéria-prima nos processos de produção. A reutilização e reciclagem destes resíduos podem minimizar os problemas ambientais ligados ao acúmulo e diminuir o uso de matérias-primas nobres (MACHADO, 2000; PANDEY *et al.*, 2000).

No Brasil, a cana-de-açúcar é uma das maiores monoculturas agrícolas. As estimativas para a nova safra de cana-de-açúcar na Região Centro-Sul, onde se concentram 86% da produção nacional mostram que a cana moída deverá atingir 498,1 milhões de toneladas, um crescimento de 16% em relação à safra 2007/08, quando foram moídas 431,2 milhões de toneladas de cana. A produção de açúcar chegará a 28,6 milhões de toneladas, 9% acima do registrado no período anterior, cuja produção foi de 26,2 milhões. O álcool anidro atingirá 7,65 bilhões de litros, 6% a mais em relação aos 7,24 bilhões de litros produzidos na safra anterior. O crescimento do álcool hidratado será de 27%, chegando a 16,6 bilhões de litros. Na safra anterior esse volume foi de 13,1 bilhões de litros (UNICA, 2008).

O processamento da cana gera vários resíduos agrícolas, como palha, bagaço, a torta de filtro, a vinhaça e águas residuárias. Desses resíduos, o bagaço é o que se encontra em primeiro lugar em termos de quantidade gerada.

Os dados mostram que uma tonelada de cana-de-açúcar pode gerar cerca de 140 kg de bagaço (ALVES FILHO, 2007). A produção mundial de bagaço é cerca de 54 milhões de toneladas anualmente (LIU *et al.*, 2007). Os custos dos processos de colheita e lavagem do bagaço já são incluídos ao processo de extração do açúcar, tornando assim as condições econômicas excelentes para o processamento do bagaço.

Neste trabalho foi utilizada a celulose de bagaço de cana-de-açúcar para obtenção de fibras têxteis.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

**2.1 Bagaço de cana-de-açúcar:** O bagaço de cana-de-açúcar utilizado neste trabalho foi gentilmente cedido pela Usina Açucareira Ester S.A, da cidade de Cosmópolis, no Estado de São Paulo.

O bagaço foi seco ao ar por cerca de 10 dias até atingir um teor de umidade de aproximadamente 10%; em seguida foi embalado em sacos de polipropileno e guardado em câmara fria a 4°C.

O tamanho médio das partículas do bagaço utilizado foi de 8 a 60 mm de comprimento e 0,4 mm de diâmetro de um filamento único sendo 4 mm o diâmetro do aglomerado. Essas medidas foram realizadas utilizando um paquímetro Mitutoyo (0 a 250 mm).

**2.2 Polpações soda /AQ:** As polpas NaOH/AQ foram obtidas utilizando 4,5 g de bagaço de cana e solução de NaOH 20,64% (m/v) (16% de Na<sub>2</sub>O ativo) obedecendo à relação licor: bagaço de 12:1 (v/m) e 0,15% (m/v) de AQ em relação à massa seca de bagaço. A reação foi feita em um reator de aço inoxidável, com capacidade de 500 mL, a 160°C por 120 min, disponível no Laboratório de Têxteis e Confecções do Centro Tecnológico da Indústria da Moda do Instituto de Pesquisas tecnológicas-IPT. O tempo de aquecimento até a temperatura de 160°C previamente determinado foi de 90 min, resultando em um tempo total de processo de 210 min. As polpas obtidas foram exaustivamente lavadas com água destilada até atingir pH 7 e foram secas a 25°C. Para obter 100 g de polpa foram realizadas cerca de 70 reações.

Os rendimentos das polpas foram calculados pela equação 1 (a massa seca refere-se ao material sem umidade):

$$RT = \frac{m}{M} \times 100 \quad (\text{equação 1})$$

Em que:

RT = rendimento total (%);

M = massa de bagaço (g) (base seca);

m = massa de polpa obtida após o término da polpação (g) (base seca).

**2.3 Classificações das polpas de bagaço:** Para a classificação das polpas de bagaço de cana, cada amostra foi desagregada (consistência de aproximadamente 0,3%) em aparelho MA-1032. A suspensão de polpa foi adicionada em um classificador do tipo Somerville com fenda de 0,15 mm. As polpas classificadas foram centrifugadas e guardadas em câmara fria a 4°C.

**2.4 Determinação do rendimento da polpa classificada:** O rendimento das polpas classificadas de bagaço de cana foi determinado pela diferença entre o rendimento total e o teor de rejeitos. Após a determinação do rendimento total foi necessário determinar a porcentagem de rejeitos, após a classificação das polpas, e por fim determinar o rendimento da polpa classificada.

O rendimento classificado foi calculado pela equação 2:

$$R_c = RT - tr \left( \frac{mr}{M} \right) \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

R<sub>c</sub> = rendimento classificado (%);

RT = rendimento total (%);

tr = teor de rejeito após classificação (%) (base seca);

mr = massa de rejeitos (g) (base seca);

M = massa inicial de bagaço de cana (g) (base seca).

**3.5 Hidrólises ácidas das polpas soda/AQ:** As hidrólises ácidas das polpas foram realizadas utilizando 100 mg de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado por 1 g de matéria seca e relação final matéria seca – solução ácida de 1:10, a temperatura de 121°C, por 10 minutos (PESSOA JÚNIOR, 1997).

**2.5 Branqueamento químico:** Em cada amostra de polpa classificada hidrolisada ou não, inicialmente foi realizada uma seqüência de branqueamento químico constituído de três estágios: extração alcalina com hidróxido de sódio (E),

Tratamento de Quelação com DPA-dietilenotriamina-penta-ácido acético (Q) e Tratamento com peróxido de hidrogênio (P) usando-se as melhores condições encontradas por FARIA (1994). Para comparação, foi realizado também branqueamento em única etapa usando como reagente clorito de sódio (I) (RUZENE, 2006; BROWING,1963).

**2.6 Preparo das fibras têxteis:** As fibras foram preparadas utilizando 10% de celulose, adicionando 80% de óxido de N-metilmorfolina (NMMO) e 10% de água a 75°C por 30 min. A extrusão das fibras foi feita em um banho contendo água a temperatura ambiente conforme metodologia (FINK *et al.*, 2001).

**2.7 Ensaio de absorção de água e perda de peso:** Os experimentos foram realizados em triplicatas. As fibras foram pesadas e imersas em 15 mL de uma solução tampão de PBS com 7,4±0,02. Os frascos com as amostras foram selados com parafilme e colocados em um banho com agitação (60 rpm) a 37°C. Após os períodos de tempo determinados (1, 3, 5, 7, 15, 21, 30 dias) as amostras foram removidas e determinadas suas massas. A quantidade de água absorvida foi calculada pela equação 3.

$$\% \text{ água absorvida} = \left( \frac{m_w - m_i}{m_i} \right) \times 100 \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

$m_i$  = massa inicial da amostra

$m_w$  é a massa da amostra úmida.

Ao fim de cada teste as amostras foram submetidas à secagem a 37°C e foram novamente pesadas para se determinar a massa seca final de modo a ser calculada a perda de massa segundo a equação 4.

$$\% \text{ perda de massa} = \left( \frac{m_f - m_i}{m_i} \right) \times 100 \quad (\text{equação 4})$$

Em que:

$m_f$  = massa final da amostra após a secagem

$m_i$  = massa inicial da amostra.

**2.8 Microscopias Eletrônica de Varredura (MEV):** As amostras de polpas sem classificação e de fibras têxteis obtidas de celulose comercial e de bagaço foram colocadas em um suporte com fita de carbono e revestidas com ouro. Foi utilizado um microscópio da marca Philips XL serie do laboratório de microscopia eletrônica do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN. A amplitude utilizada para fibras têxteis foi de 12 e 100 vezes.

**2.9 Testes de Citotoxicidade:** Os ensaios de citotoxicidade foram realizados pelo método de incorporação do vermelho neutro seguindo normas internacionais (ISSO 10993-5, 1992) e metodologia descrita por ROGERO *et al.*, 2003.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Estudos do rendimento do processo de polpação soda/AQ

Devido à presença de rejeitos na polpa soda/AQ (verificado visualmente após o término da polpação) foi necessário fazer a classificação das polpas, obtendo-se deste modo o rendimento classificado.

**Tabela 1.** Resultados da polpação soda/AQ do bagaço de cana-de-açúcar.

	Lavagem	pH inicial	pH final	R total (%)	Rejeitos (%)	R Classif. (%)
Polpa soda/AQ	Água	13,8	6,7	46	16,9	32,4

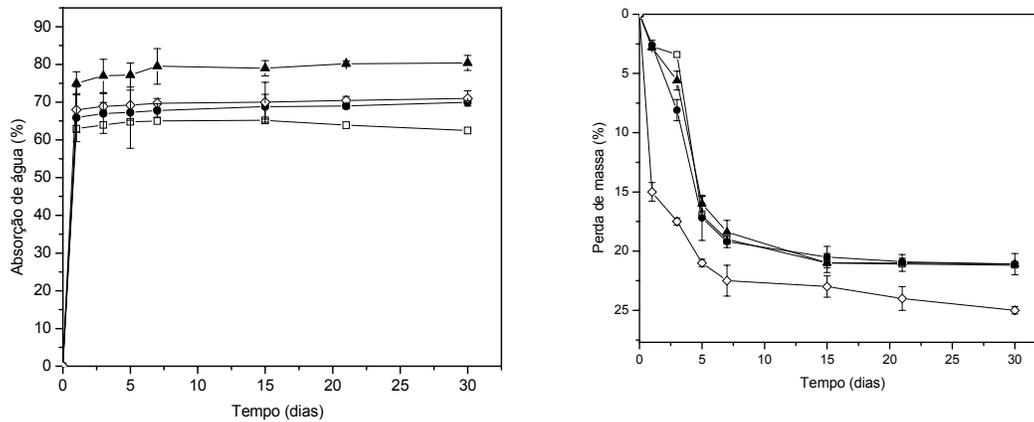
R rendimento  
Classif. classificado

Após a etapa de polpação foi possível observar (Tabela 1) que o rendimento total da polpa soda/AQ foi 46% e depois da classificação o teor de rejeitos foi 16,9%. O ideal seria após a etapa de polpação soda/AQ passar a polpa por uma etapa mecânica de desfibrilação para romper as partículas de bagaço

que ainda restam no meio reacional, diminuindo deste modo a quantidade de rejeitos. O rendimento classificado para o processo de polpação foi de 38,6%. Este valor está na mesma faixa dos valores encontrados por outros autores para polpação alcalina e outros tipos de polpação, que foram na faixa de 33,1 - 40,9% para o bagaço e palha da cana-de-açúcar (LUZ, 2004; RUZENE, 2006).

### **3.2 Absorções de água e perda de peso**

Algumas das mais importantes propriedades de uma fibra têxtil estão intimamente relacionadas ao seu comportamento nas diversas condições atmosféricas. A maioria das fibras são higroscópicas, isto é, elas são capazes de absorver vapor de água de uma atmosfera úmida e, inversamente, desabsorver ou perder água numa atmosfera seca. Muitas das propriedades físicas de uma fibra são afetadas pelo teor de água absorvida: dimensões, resistência à tração, recuperação elástica, resistência elétrica, rigidez, etc. Na forma de um tecido, as relações de umidade exercem uma parte importante quando se decide que um tecido é inadequado a uma finalidade particular (MALUF e KOLBE, 2003). Outros fatores surgem nos casos em que detalhes estruturais de um tecido podem modificar o comportamento aparente da fibra. Por exemplo, um tecido produzido de fibras hidrofóbicas, como poliéster, pode absorver água pelo efeito de capilaridade ao longo da superfície da fibra e do fio (MALUF e KOLBE, 2003).



(a) (b)  
**Figura 1.** (a) Absorção de água e (b) perda de massa das fibras obtidas da celulose pura e do bagaço por períodos de 30 dias. (-□-) Celulose de bagaço sem hidrólise branqueada com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, (-●-) Celulose de bagaço com hidrólise e branqueada com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, (-▲-) Celulose de bagaço sem hidrólise branqueada com clorito de sódio e (-◇-) Celulose comercial.

A Figura 1 mostra os resultados de absorção de água em função do tempo. A capacidade de um material em reter água em sua estrutura, o torna interessante para determinados tipos de aplicações na área médica, como por exemplo, em suturas. Principalmente em casos de ferimentos onde haja a presença de secreção. Uma fibra com capacidade de absorver água poderá ser capaz de remover a secreção, promovendo a cicatrização do ferimento. Dependendo da aplicação, as especificações mais importantes em medicina são a absorvência, tenacidade, flexibilidade, maciez, e em certos casos bioestabilidade e biodegradabilidade (ARAÚJO *et al.*, 2001).

Pode-se observar na Figura 2 que a fibra que apresentou capacidade maior de absorção de água foi à obtida da celulose de bagaço de cana sem hidrólise e branqueadas com clorito de sódio chegando a 80%, seguida da fibra de celulose comercial 70% e celulose do bagaço de cana com hidrólise e branqueada com peróxido de hidrogênio. Foram retiradas as amostras em períodos de tempo

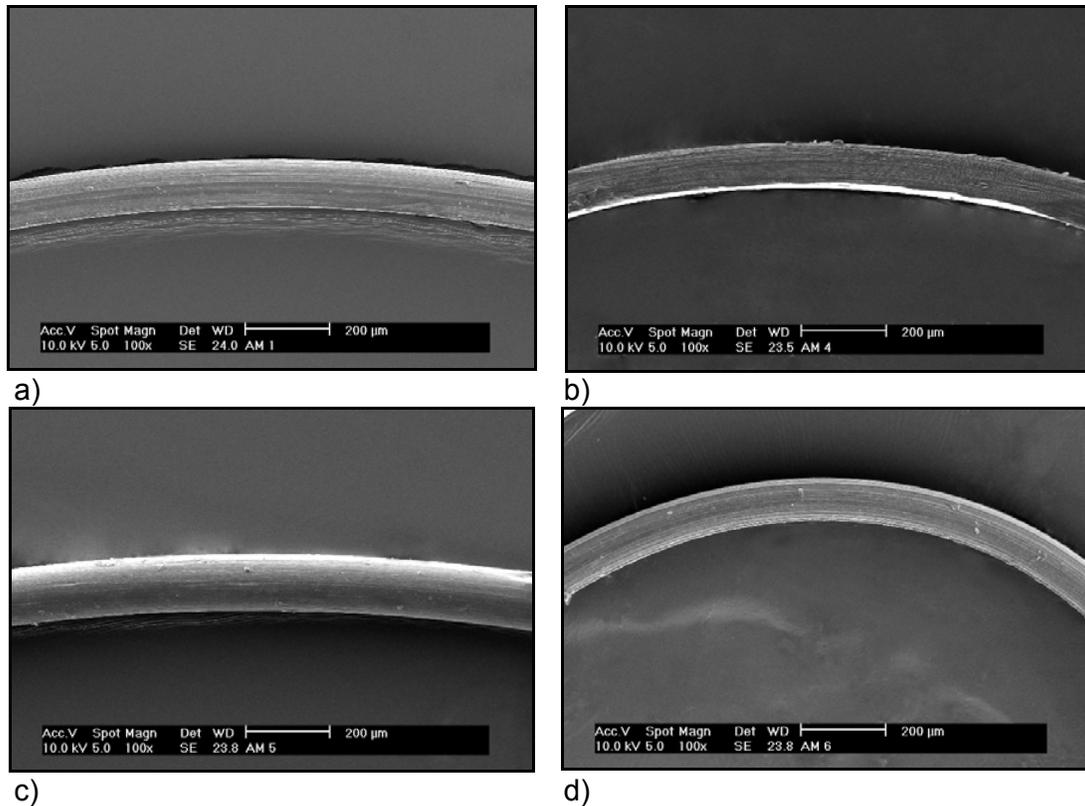
determinados (1, 3, 5, 7, 15, 21 e 30 dias), logo no primeiro dia de teste a absorção de água para todas as amostras foram maiores que 60%.

Os ensaios de perda de massa são importantes para verificar a degradação da fibra à medida que vai ocorrendo o intumescimento da mesma em tampão fosfato com pH fisiológico. Pode-se observar na Figura 2b que a maior perda de peso foi para a fibra obtida da celulose comercial 25% com 30 dias e para as fibras obtidas do bagaço de cana as perdas foram cerca de 20% com 30 dias de ensaio. Essa maior perda de massa da fibra obtida de celulose comercial pode ser devido à maior liberação do reagente óxido de N-metilmorfolina utilizado no preparo do gel.

### **3.3 Microscopias eletrônicas de varredura das fibras**

A microscopia eletrônica de varredura é uma técnica de análise muito utilizada para avaliação da qualidade da fibra, permite avaliar a presença ou não de escamas, irregularidade de espessura ou forma ao longo das fibras, modo como as fibras se agrupam, se possuem ou não marcas no seu interior, a presença ou não uma medula, forma da seção transversal e longitudinal, diferenças de cor, presença de partículas de agentes acabamentos. Na área médica pode ser utilizada para se observar a presença de microrganismos como fungos, bactérias e aderência células na superfície dos materiais (ARAÚJO e CASTRO, 1984 e ZANETTE e CARIDE, 2000).

A Figura 2 mostra as imagens de MEV das fibras obtidas de celulose comercial e de bagaço de cana. Pode-se observar que as fibras estão orientadas em uma direção e apresentam certa regularidade apesar do processo de extrusão manual. É possível observar também a presença de estrias na superfície das fibras (Figura 2 a, b, c e d), provavelmente devido às micro ranhuras presentes na agulha utilizada na seringa para extrusão. As agulhas foram cortadas manualmente, mas a condição ideal seria que elas fossem cortadas a laser para evitar essas ranhuras.

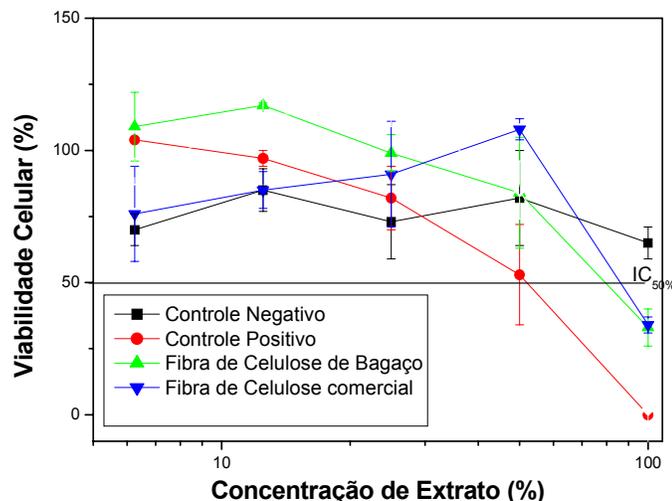


**Figura 2.** Microscopia eletrônica de varredura das fibras têxteis obtidas, (a e b) celulose comercial (a), celulose de bagaço SH/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (b), celulose de bagaço CH/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, (c) celulose de bagaço CH/Clorito de sódio (d).

### 3.4 Ensaios de Citotoxicidade nas fibras têxteis

Neste ensaio as células que permanecem vivas após o contato com o extrato das amostras de fibras elas incorporam o vermelho neutro colocado em contato com as mesmas. Com a solução de lavagem, todo o vermelho é jogado fora. Colocando-se a solução a de extração esta rompe a célula liberando o vermelho neutro que foi incorporado. Isto, não acontece com as células que morrem após o contato com os extratos das amostras.

A Figura 3 mostra o IC<sub>50%</sub> para o controle positivo de 53%, fibra de celulose de bagaço de cana = 84%, fibra de celulose comercial de 90%. O significa que para essas concentrações o material analisado provoca a morte ou lesa 50% das células da linhagem NTCC clone 929 de camundongo.



**Figura 3.** Curvas de viabilidade celular obtidas no ensaio de citotoxicidade pelo método de incorporação do vermelho neutro.

#### 4.CONCLUSÕES

O rendimento do processo de polpação do bagaço e classificação das polpas foi de 38,5%. De forma geral, tanto branqueamento com peróxido quanto com clorito de sódio foram eficientes. No entanto, levando-se em consideração a toxicidade dos reagentes e as dificuldades de manuseio, o peróxido de hidrogênio é o mais recomendável.

Todas as fibras obtidas de celulose pura e de bagaço apresentaram capacidade de absorção de água na faixa de 60 – 86%. Isto torna essas fibras interessantes para determinadas aplicações médicas, por exemplo, para cobertura de ferimentos que apresentam secreção, uma vez que estas fibras têm capacidade de absorver as secreções e desta forma promover a secagem do ferimento. O perfil de perda de massa na foi na faixa de 2,5 – 26% em 30 dias.

O índice de viabilidade celular  $IC_{50\%}$  para o controle positivo de 53%, fibra de celulose de bagaço de cana de 84%, fibra de celulose comercial de 90%. O significa que para essas concentrações o material analisado provoca a morte ou lesa 50% das células da linhagem NTCC clone 929 de camundongo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ e a FAPESP pelo apoio financeiro.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES FILHO, M. Unicamp e USP agregam suas pesquisas sobre biomassa da cana. Disponível em: [www.unicamp.br/unicamp\\_hoje/fu/fevereiro2003/fuu203pg03atml](http://www.unicamp.br/unicamp_hoje/fu/fevereiro2003/fuu203pg03atml). Acesso em: 06-05-2007.

ARAÚJO DE. M., FANGUEIRO, R., HONG, H. Têxteis técnicos na medicina. Aplicações, novos processos e novos produtos. **Têxteis Técnicos Materiais do Novo Milênio**. Williams, Lda (ed), v. 3, p. 29-34, 2001.

ARAÚJO DE. M., CASTRO, E.M.M. **Manual de Engenharia Têxtil**. Fundação Calouste Gulbenkian (ed.), Lisboa, v. 1 e 2, p. 685 e p.732-734, 1984.

BROWING, B.L. **The Chemistry of Wood**. New York, Interscience Publisher, p.574, 1963.

ISO 10 993-5 - International Organization for Standardization - Biological evaluation of medical devices, Part 5, Tests for cytotoxicity: in vitro methods, 1992.

LIU, C. F., SUN, R.C., QIN, M., HANG, A.P., REN, J.L., XUB, F., YE, J., WU, S.B. Chemical modification of ultrasound-pretreated sugarcane bagasse with maleic anhydride. **Industrial Crops and Products**, v.26, p. 212–219, 2007.

LUZ; L. Celulose de bagaço e palha de cana-de-açúcar: modificação química e aplicação em compósitos como reforço do polipropileno. Lorena: Departamento de Biotecnologia/faculdade de Engenharia Química de Lorena, 91p. **Dissertação de Mestrado**, 2004.

MACHADO, G.O. Preparação e caracterização CMC e CMC graftizada. São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000, p.101 **Dissertação de Mestrado**.

PANDEY, A., SOCCOL, C. R., NIGAN, P., SOCCOL, V.T. Biotechnology potential of agro-industrial residues. I: sugarcane bagasse. **Bioresource Technology**, v.74, p.69-80, 2000.

ÚNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Safra de cana-de-açúcar 2008/09. Projeções apontam para crescimento de 16% no volume de cana colhida, com 32 novas usinas entrando em operação na região Centro-Sul ao longo da safra. Disponível em: <http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=21696>. Acesso em: 05-07-2008.

PESSOA JÚNIOR, A. Acid hydrolysis of hemicelulose from sugarcane bagasse. Brazilian, **Journal of Chemical Engineering**, v.14, n.03, p. 291-297, 1997.

ROGERO, S.O., MALMONGE, S.M., LUGÃO, A.B., IKEDA, T.I., CRUZ, A.S. Biocompatibility study of polymeric biomaterials, **Artificial Organs**, v. 27, n. 5, p. 424-427, 2003.

RUZENE, D:S. Obtenção de polpas de dissolução por processos Organosolv a partir de palha ou bagaço de cana-de-açúcar. Lorena: FAENQUIL/ Departamento de Biotecnologia, 2006. p. 73. **Tese de Doutorado**.

ZANETTE, S.I. E CARIDE, O.A. As inovações das imagens da matéria. **Ciência Hoje**, 2000, v. 27, n.162, p.33.