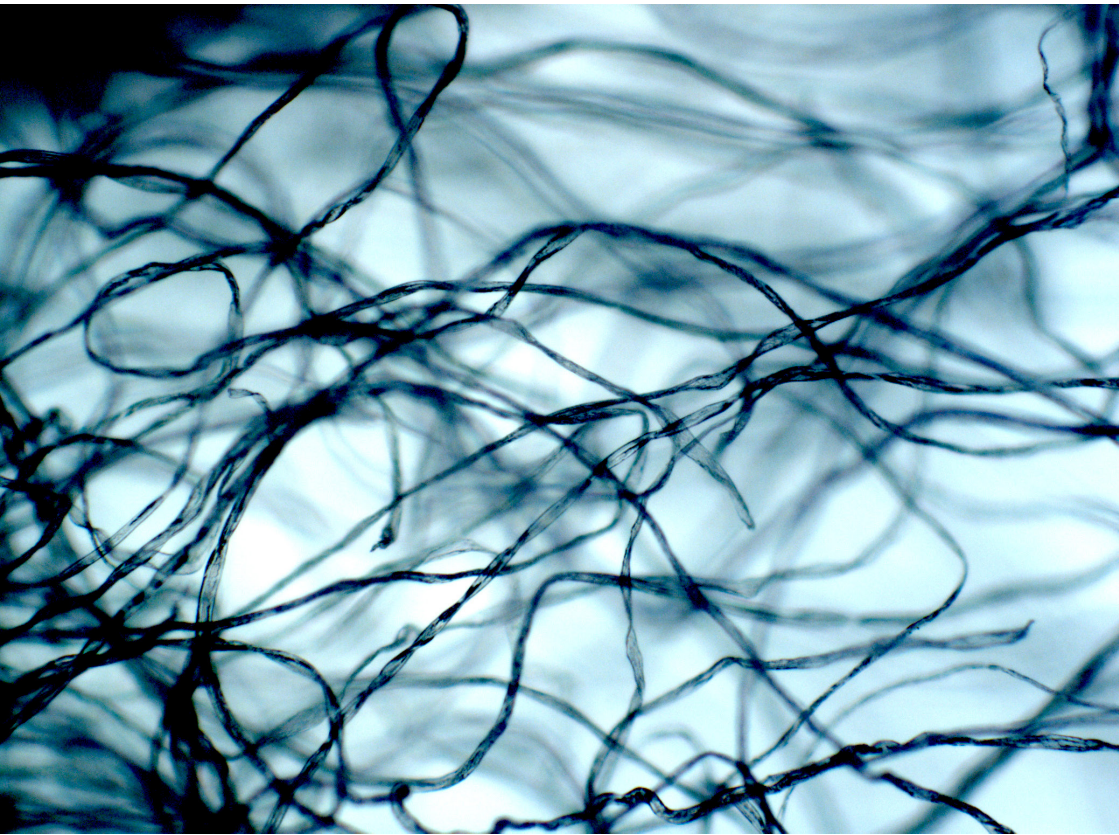


Celulose: Pontos de vista



ISSN 2177-4439
Julho, 2015

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroenergia
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 18

Celulose: pontos de vista

*Daniela Tatiane de Souza
Larissa Andreani Carvalho
Leonardo Fonseca Valadares*

Embrapa Agroenergia
Brasília, DF
2015

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Agroenergia

Parque Estação Biológica, PqEB s/n, Brasília, DF

Fone: (61) 3448-4246

Fax: (61) 3448-1589

www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Marcia Mitiko Onoyama Esquiagola

Secretária-Executiva: *Lorena Costa Garcia*

Membros: *Maria Iara Pereira Machado, Eduardo Fernandes Formighieri, Larissa Andreani Carvalho, Betania Ferraz Quirino, João Ricardo Moreira de Almeida, Felipe Brandão de Paiva Carvalho, Sílvia Belém Gonçalves e Diogo Keiji Nakai.*

Supervisão editorial: *Marcia Mitiko Onoyama Esquiagola*

Revisão de texto: *Marcia Mitiko Onoyama Esquiagola*

Normalização bibliográfica: *Maria Iara Pereira Machado*

Tratamento de ilustrações: *Leonardo Fonseca Valadares*

Editoração eletrônica: *Maria Goreti Braga dos Santos*

Foto(s) da capa: *Leonardo Fonseca Valadares*

1ª edição

Edição online (2015)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agroenergia

S 731 Souza, Daniela Tatiane de.

Celulose: pontos de vista / por Daniela Tatiane de Souza, Larissa Andreani Carvalho e Leonardo Fonseca Valadares. – Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2015.

40 p. ; il. color. – (Documentos / Embrapa Agroenergia, ISSN 2177-4439 ; 18)

1. Celulose – caracterização técnica. 2. Celulose – Dimensão econômica. I. Carvalho, Larissa Andreani. II. Valadares, Leonardo Fonseca. III. Título. IV. Série.

CDD – 676.12

© Embrapa 2015

Autores

Daniela Tatiane de Souza

Economista, doutora em Engenharia de Produção,
analista da Embrapa Agroenergia
daniela.souza@embrapa.br

Larissa Andreani Carvalho

Química, doutora em Físico-Química, analista da
Embrapa Agroenergia
larissa.andreani@embrapa.br

Leonardo Fonseca Valadares

Químico, doutor em Físico-Química, pesquisador
da Embrapa Agroenergia
leonardo.valadares@embrapa.br

Apresentação

É público e notório que o Brasil é um dos maiores produtores de celulose do mundo. A produção de celulose de fibra curta no nosso país é bastante competitiva. Esta competitividade decorre principalmente das condições edafoclimáticas favoráveis que possibilitam um ciclo de produção de madeira mais curto, quando comparado a países de clima temperado. Além disso, esta indústria tem ampla experiência no manejo florestal, o que leva a um processo produtivo mais eficiente também quanto aos custos de produção. Esta competitividade decorre também do grande investimento na pesquisa e inovação tecnológica realizado pelo setor de celulose e papel, tanto público quanto privado.

A celulose é um material abundante e presente em nosso cotidiano na forma de papéis e tecidos, sendo o componente majoritário das plantas. O papel, por exemplo, trata-se de um material descoberto e utilizado há milênios, que possibilitou diversos registros históricos e avanços no conhecimento, e que tem uso crescente na sociedade moderna, mesmo após o advento dos computadores e livros digitais.

As possibilidades de aplicação da celulose são decorrentes das propriedades deste material: alta rigidez, alvura, biodegradabilidade, origem renovável, facilidade de modificação, entre outras.

Na Embrapa Agroenergia, este tema vem sendo foco de pesquisas em diversas frentes, com especial destaque para a produção de etanol de segunda geração. Porém, a transformação da biomassa lignocelulósica em biomateriais e químicos renováveis também recebe especial atenção.

Bem caracterizar a biomassa lignocelulósica, seja qualitativa quanto quantitativamente, é fundamental para orientar nos processos de uso desta e dos seus resíduos e coprodutos. Esta caracterização e proposta de uso precisa estar associada a uma análise de todos os elos da cadeia de produção e uso desta biomassa, que é complexa e diversa em um país continental como o Brasil. Qualquer iniciativa que vise melhor conhecer esta biomassa é importante, e por isso a Embrapa Agroenergia se propôs a organizar este documento.

Este documento foi elaborado para mostrar aos interessados apenas alguns pontos importantes sobre a celulose. Aqui são abordados principalmente aspectos técnicos e econômicos da celulose. Considerando os pontos de vista técnicos sobre a celulose, são abordados os métodos de obtenção, purificação, estrutura química, modificação e aplicações. Considerando os aspectos econômicos, os seguintes tópicos são abordados: caracterização da indústria mundial, caracterização da indústria brasileira, produção, comércio exterior, consumo mundial, custos e preços.

Por fim, este documento trás informações essenciais para profissionais e estudantes interessados no tema “celulose” que, por sua abrangência, traz miríades oportunidade e desafios científicos, tecnológicos e de mercado.

Manoel Teixeira Souza Júnior
Chefe Geral – Embrapa Agroenergia

Sumário

Celulose: pontos de vista	9
Introdução.....	9
Estrutura Química.....	10
Métodos de Purificação.....	11
Aplicações	14
Fonte de Energia	17
Mercado	18
Caracterização da Indústria Mundial.....	19
Produção, Comércio Exterior e Consumo Mundial	19
Custos e Preços Mundiais.....	23
Caracterização da Indústria Brasileira	25
Produção e Comércio Exterior	26
Capacidade de Produção	29

Resíduos do Processo Produtivo – o Licor Negro	35
Considerações Finais	36
Referências	39

Celulose: pontos de vista

Daniela Tatiane de Souza

Larissa Andreani Carvalho

Leonardo Fonseca Valadares

Introdução

A celulose é o material orgânico mais abundante na Terra. Organismos que realizam fotossíntese como plantas, algas e alguns tipos de bactérias, produzem quantidade expressiva de matéria orgânica pela fixação de dióxido de carbono. Cerca da metade desta biomassa é composta por celulose, que é o principal componente da parede celular da maioria dos vegetais. Estima-se que aproximadamente 10^{14} kg (100 bilhões de toneladas) de celulose são produzidas a cada ano por vegetais (CAMPBELL; REECE, 2010).

A celulose é um carboidrato de cadeia linear, formado por moléculas de glicose unidas por ligações covalentes. Devido à sua abundância e características físico-químicas, a celulose tem grande relevância que abrange desde sua função natural de sustentação nas plantas, até seu uso em distintas atividades econômicas. Este documento fornece

algumas informações sobre a caracterização técnica deste material e sua dimensão econômica no Brasil e no mundo.

Estrutura Química

A celulose é um polímero linear de alto peso molecular com estrutura de cadeia uniforme, representada na Figura 1. A unidade repetitiva deste polímero é denominada celobiose (β -D-glucopiranoose), que consiste em duas moléculas adjacentes de glicose ligadas por ligações glicosídicas $\beta(1\rightarrow4)$. Estas ligações ocorrem com eliminação de água entre a hidroxila equatorial ligada ao C4 e o átomo de C1. Em sua conformação preferencial, as unidades de glicose estão rotacionadas a 180° em relação às unidades de glicose adjacentes. Nesta conformação, a hidroxila localizada em C3 forma uma ligação de hidrogênio com o oxigênio heterocíclico da unidade vizinha.

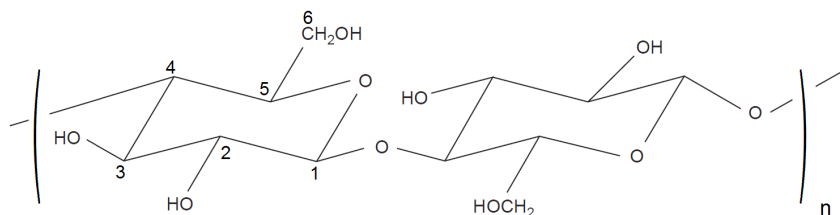


Figura 1. Fórmula estrutural da celulose mostrando sua composição química, numeração dos átomos de carbono e sua unidade de repetição: a celobiose. Adaptado de O'Sullivan (1997).

O grau de polimerização da celulose nativa (quando a celulose está em sua forma natural) depende de sua fonte e não é bem estabelecido, pois os procedimentos utilizados para isolar, purificar e solubilizar a celulose geralmente causam a quebra das cadeias. Deste modo, o grau de polimerização medido depende também do método de purificação utilizado. Valores de grau de polimerização encontrados na literatura variam de 300 a 1.700 unidades de glicose para madeiras e 800 a 10.000 unidades de glicose para algodão e celulose bacteriana.

Há um consenso de que nos domínios cristalinos da celulose, as cadeias estão alinhadas paralelamente e interagem por ligações de hidrogênio intermoleculares. As camadas formadas pelas cadeias empacotam-se umas sobre as outras, formando uma microfibrila. Outras denominações deste arranjo de cadeias ordenadas são: protofibrilas, fibrilas elementares, microfibras, nanofibras ou nanocristais de celulose.

Os grupos hidroxila presentes nas cadeias de celulose podem estar envolvidos em diversas ligações de hidrogênio intra e intermoleculares originando, portanto, vários arranjos cristalinos. A celulose I ou celulose nativa pode ser transformada de modo irreversível em celulose II, um alomorfo cristalino e estável. Esta transformação pode ser feita por regeneração ou mercerização. A regeneração, método utilizado para produzir as fibras de rayon, é realizada preparando uma solução de celulose em um solvente apropriado, seguido de coagulação e recristalização. A mercerização, método utilizado para modificar as propriedades naturais de linhas e tecidos, é realizada pelo intumescimento intercrystalino da celulose em hidróxido de sódio concentrado, seguido de lavagem e recristalização. Além dos citados, existem vários outros alomorfos de celulose que, por sua vez, são divididos em subgrupos. Em geral, os alomorfos da celulose são identificados por seu padrão de difração.

Métodos de Purificação

Os principais métodos para extração da celulose são encontrados na indústria de papel e derivados. O processo pelo qual a madeira é reduzida a uma pasta fibrosa é denominado polpação. Nesta técnica, ocorre o rompimento das ligações entre as estruturas da madeira separando as fibras. De modo geral, existem duas maneiras de romper as ligações na madeira e liberar as fibras: pela ação mecânica e pela ação de produtos químicos. Também existem combinações desses dois métodos, como os métodos quimiomecânico, termomecânico e

semiquímico. A seguir, os principais métodos de transformação da madeira em pasta fibrosa são detalhados.

Métodos Mecânicos

Nos métodos mecânicos, a maioria dos constituintes da madeira permanece na pasta fibrosa. O moinho de pedra é o instrumento mais antigo para a conversão de madeira em polpa. De modo geral, toras de madeira descascadas são pressionadas paralelamente às pedras de moagem em rotação, enquanto água é acrescentada à zona de moagem. O atrito na zona de moagem pode aumentar a temperatura a 150-190 °C. O processo de moagem desfibrila a superfície da madeira, refinando as fibras e reduzindo o tamanho dos aglomerados de fibras. Obtém-se alto rendimento (85 a 95%), porém o papel obtido é pouco resistente, tornando-se necessário misturar fibras longas produzidas por processos químicos. Outras desvantagens são a rápida e fácil descoloração do material e o alto consumo de energia. A pasta de madeira moída é um material praticamente não-deslignificado, portanto, sofre amarelamento com o tempo, sendo utilizado em aplicações temporárias, como papel-jornal, catálogos, revistas, papel higiênico e papelão. A pasta de madeira moída é utilizada pura como material fibroso apenas em papéis de baixa qualidade. Em papel-jornal, por exemplo, é adicionada 15-20% de pasta obtida em processos químicos, para atingir qualidade aceitável para impressão. Modificações do processo de moagem tradicional incluem pré-tratamento com vapor, produtos químicos e, mais recentemente, a moagem sob pressão. Estes processos objetivam a redução do consumo de energia e melhoramento das propriedades dos materiais, especialmente de madeiras duras.

Ainda nos métodos mecânicos existe a polpação mecanicamente refinada. A principal característica é o uso de cavacos (mas também podem ser utilizadas serragem e lâminas) predominantemente de madeiras moles e a aplicação de discos de refinamento de vários tipos para a desfibrilação da matéria-prima. O processo original de refinamento (RMP) tem sido substituído pelos processos usando vapor a pressão e aplicação de produtos químicos, o que normalmente melhora a qualidade da polpa, mas aumenta o gasto de energia.

Métodos Químicos

Como processos químicos, pode-se citar o processo *Kraft* – também denominado “processo sulfato” – e o processo de soda fria. Estes são os dois principais processos de polpação alcalinas e a base para diversos processos alcalinos modificados. O hidróxido de sódio é o principal produto químico de cozimento em ambos os processos, enquanto o sulfeto de sódio é o componente adicional no processo *Kraft*.

O processo *Kraft* é o processo de polpação mais importante e mais utilizado na indústria de papel. A pasta de celulose *Kraft*, além de ser obtida com alto rendimento e com propriedades superiores, possui as seguintes vantagens: baixa demanda em espécies de plantas, podendo ser utilizadas madeiras moles, duras, com altos teores de extrativos ou resíduos de casca; tempos de cozimento curtos; é um processo bem estabelecido no que diz respeito a gasto de licor, recuperação dos reagentes, geração de calor de processo, e produção de coprodutos. As principais desvantagens estão relacionadas a problemas com o mau cheiro, a coloração escura das polpas não branqueadas e aos enormes custos para a instalação dos moinhos.

Já o processo de soda fria envolve o tratamento de cavacos com solução de soda cáustica a temperatura ambiente e uma desfibrilação final. O processo é quase exclusivamente aplicado a madeiras duras. O processo é normalmente integrado ao moinho *Kraft* permitindo o reaproveitamento do hidróxido de sódio. Baixa concentração de soda é normalmente utilizada: de 0,25 a 2,5%.

Combinações dos Métodos Mecânico e Químico

A polpação semiquímica, que consiste em um método que combina ações mecânicas e químicas, é caracterizada pelo tratamento químico antes do refinamento mecânico. É um método utilizado para a obtenção de polpas de madeiras duras. Um procedimento comum tem as seguintes etapas: impregnação com licor de sulfeto de sódio, cozimento a temperaturas de 160 a 190 °C e refinamento por disco.

Aplicações

A indústria de papel e celulose é principalmente voltada para a produção de papel e papelão. Esta indústria é responsável pela produção do maior volume de celulose utilizado atualmente. Já o algodão, extraído das plantas do gênero *Gossypium*, é uma fibra composta por celulose praticamente pura (95-99%) (FENGEL; WEGENER, 2003), que tem sido utilizada como a principal matéria-prima em indústrias têxteis. Além destas importantes cadeias produtivas, a celulose é transformada quimicamente em indústrias para dar origem a uma ampla faixa de aplicações. Sua utilidade é devida as suas excelentes propriedades físicas e sua rápida transformação em derivados (OTT et al., 1954). É possível a formação de derivados de celulose tais como ésteres, éteres, alcoolatos e complexos, todos por reação com as hidroxilas da celulose. A maioria dessas reações é heterogênea, devido à insolubilidade da celulose (FENGEL; WEGENER, 2003). Estes derivados são úteis devido às suas características de solubilidade, sua facilidade de formação em altas temperaturas e/ou sua flexibilidade.

Atualmente, a celulose apresenta várias aplicações que se utilizam de sua biodegradabilidade, grande disponibilidade e baixo custo como, por exemplo, a formulação de hidrogéis, microcápsulas, filmes e reforço de compósitos na forma de fibras. Porém, a celulose e seus derivados, tais como nitrato de celulose, xantato de celulose, acetato de celulose, entre outros, são utilizados a mais de um século na confecção de diversos materiais, como será discutido a seguir.

Nitrato de Celulose

O nitrato de celulose, também chamado de nitrocelulose, é um derivado de celulose muito interessante tanto pela sua ampla aplicação industrial quanto por ser um material versátil para o estudo da química de celulose. A nitrocelulose é um material altamente inflamável e solúvel em vários solventes, formando géis ou soluções que podem ser utilizados em processos comerciais, com aplicações que variam com o grau de nitração da sua estrutura (FENGEL; WEGENER, 2003). No setor de explosivos, substituiu a pólvora, apresentando a vantagem

de não deixar resíduos após a explosão. No setor de plásticos, o celulóide, primeiro termoplástico artificial, substituiu resinas naturais. Além disso, substituiu os óleos e resinas naturais nas tintas modernas e a seda pelo seu análogo artificial no setor de fibras, dando origem às fibras químicas (KAMIDE, 2005). Uma das aplicações interessantes do nitrato de celulose é a sua utilização em filmes, devido a propriedade de esticar em longas tiras que correspondem às películas de vídeo. Porém, o nitrato de celulose não é mais usado para essa finalidade. Por ser muito inflamável, muitas relíquias de cinema foram consumidas em incêndios provenientes desse material, sendo substituído pelo triacetato de celulose, menos inflamável.

Xantato de Celulose

Os produtos rayon e celofane, produzidos a partir de xantato de celulose, são exemplos de derivados de celulose amplamente estudados e utilizados industrialmente. Em 1894, Charles Frederick Cross patenteou uma seda artificial que passou a ser chamada de viscose, pois o produto da reação de dissulfeto de carbono e celulose em condições básicas resultou em uma solução altamente viscosa de xantato de celulose. Esse processo usa hidróxido de sódio e dissulfeto de carbono em concentrações altas para dissolver as regiões cristalinas da celulose e convertê-la no líquido chamado de viscose (TREIBER, 1985). Este método pode usar madeira contendo celulose e lignina como fonte de celulose enquanto outros métodos precisam de uma celulose livre de lignina como material de partida. Isso o torna mais barato, por isso o método é utilizado em maior escala em comparação com outros métodos. O nome rayon foi adotado em 1924 e o nome viscose passou a ser usado para o líquido orgânico viscoso usado para fazer tanto rayon quanto o celofane. O rayon é uma fibra muito versátil e apresenta a mesma característica de conforto das fibras naturais. Já o celofane é um material biodegradável, quimicamente inerte, muito resistente e com ampla faixa de aplicações. Em condições normais, é impermeável a alguns gases e vapores, mas é extremamente permeável a vapor de água (BRASIER, 1986).

Apesar de utilizado por muitos anos, este processo ocasiona a emissão de compostos de enxofre e pode levar à contaminação de resíduos

aquosos por dissulfeto de carbono, tornando-se um problema para o meio ambiente. Este fato, acrescido a questões econômicas como o baixo custo de derivados de petróleo, levou à substituição do celofane por plásticos no início dos anos 70 (SIMON et al., 1998). Porém, atualmente vê-se a possibilidade de modificação deste cenário, motivado pela utilização de materiais oriundos de fontes renováveis. Por isso, há interesse em metodologias que modernizem o processo de viscose e o tornem menos poluente. Um dos processos desenvolvidos com este intuito é o chamado processo liocel, onde a celulose é dissolvida em N-óxido-N-metilmorfolina (NMMO) para produzir fibras de liocel, que apresentam propriedades mecânicas melhores que as provenientes do processo de viscose. Como desvantagens, este processo apresenta alto custo energético e alta tendência de fibrilação. Outro método em desenvolvimento é o processo carbacell, que utiliza uréia, eliminando o uso de compostos contendo enxofre para produzir fibras de carbamato de celulose (KLEMM et al., 2005).

Acetato de Celulose

O acetato de celulose é o éster mais importante derivado de um ácido orgânico, produzido pela reação da celulose com uma mistura de anidrido acético e ácido acético, na presença de ácido sulfúrico como catalisador. O produto desta reação é hidrolisado para remover o ácido sulfúrico e grupos sulfato e acetato, até adquirir as propriedades desejadas (FENGEL e WEGENER, 2003). É usado na preparação de plásticos, filmes e fibras, além de já ter sido utilizado amplamente na fabricação de filmes fotográficos. Porém, este filme se oxida com o tempo liberando ácido acético e inutilizando o material, sendo por este motivo substituído pelo nylon. Uma de suas grandes vantagens, em especial para a indústria têxtil, é sua solubilidade em acetona e termoplasticidade (OTT et al., 1954). Comparado com nitrato de celulose, é consideravelmente menos inflamável. Suas propriedades são determinadas pelo seu grau de substituição, que é responsável pela sua compatibilidade com plastificantes, por sua solubilidade em solventes e pelo seu grau de polimerização, que afeta a viscosidade e, em consequência, o comportamento mecânico da solução (FENGEL; WEGENER, 2003).

Fonte de Energia

A biomassa tradicional – lenha, folhas, palhas – vem sendo utilizada pela humanidade como fonte de energia térmica e luminosa desde a invenção do fogo. A capacidade de controlar o fogo ocasionou mudanças drásticas nos hábitos dos seres humanos, sendo considerada a maior conquista humana na pré-história.

A celulose, como componente majoritário da parede celular dos vegetais, possui baixo poder calorífico quando comparado a hidrocarbonetos, como os combustíveis derivados de petróleo. Entretanto a queima de derivados de biomassa e suas frações mitigam a emissão de gases de efeito estufa, devido ao fato de o carbono presente nas plantas ser oriundo da atmosfera e ter sido fixado previamente pela reação de fotossíntese.

O etanol celulósico, ou etanol de segunda geração, é o biocombustível produzido utilizando biomassa lignocelulósica como matéria-prima. De modo simplificado, a biomassa passa por pré-tratamentos a fim de torná-la mais suscetíveis à ação enzimática. O material é então tratado com enzimas, que hidrolisa a celulose produzindo glicose. Por fim, a glicose é fermentada para a produção do etanol, que é conduzido ao processo de destilação.

O etanol celulósico é produzido no Brasil, em escala comercial, pela empresa GranBio. Esta empresa iniciou suas atividades com etanol de segunda geração em 2014, com capacidade de produção de 82 milhões de litros por ano. A unidade localizada em São Miguel dos Campos, Alagoas, é pioneira no hemisfério sul (GRANBIO, 2015).

Quanto à energia alimentar humana, a celulose é considerada fibra dietética, pois não é digerida pelo intestino delgado e, portanto, não fornece energia. Ainda assim, apesar de não ser um nutriente, a ingestão da celulose presente em frutas frescas, vegetais e grãos é importante para uma dieta saudável, pois facilita a passagem dos alimentos pelo trato digestório.

Alguns organismos procariotos podem digerir a celulose, por meio de sua clivagem em glicose. Ruminantes, como os bovinos, abrigam bactérias capazes de digerir a celulose no rúmen, o primeiro compartimento do seu estômago. Esta simbiose possibilita a hidrólise da celulose presente no pasto e a converte em glicose e outros nutrientes que alimentam os ruminantes.

Alguns fungos e bactérias, encontrados nos solos e oceanos, são os principais responsáveis pela decomposição orgânica, sendo a respiração celular uma importante etapa do ciclo de carbono.

Mercado

O setor de celulose é composto por empresas que produzem celulose e pasta de alto rendimento. Essa polpa ou pasta pode ser vendida nos mercados doméstico e externo (conhecida como celulose de mercado) ou ser destinada à produção de papel pela própria empresa que a produz. Neste caso, a polpa é chamada de celulose de integração. A oferta de celulose é polarizada conforme o tipo da fibra (curta ou longa), sendo que a indústria mundial de celulose caracteriza-se por ser altamente globalizada e por ter importantes barreiras à entrada nos países que comercializam. Verifica-se nesta indústria a elevada intensidade em capital fixo, retornos crescentes de escala e longos prazos de amortização dos investimentos, que são consequência tanto da duração da curva de aprendizagem para se atingir a capacidade plena de produção quanto da própria intensidade em capital fixo de processos produtivos, caracterizados simultaneamente pelo regime de processamento contínuo e pelo alto grau de automação. Os preços, por sua vez, são formados internacionalmente, influenciados pela oferta e pela demanda globais, no que se refere tanto ao volume quanto à característica (fibra curta ou longa). No Brasil, observa-se uma competitividade acima da média para a celulose de fibra curta, em virtude de vantagens com a produção de madeira e mão de obra. Por outro lado, aspectos relacionados ao custo da energia, de produtos químicos e frete afetam negativamente

a competitividade do setor no país. Este fato se deve aos problemas de logística local, tendendo a ser mais agravante com o movimento de interiorização da produção no país.

Caracterização da Indústria Mundial

A produção de celulose está relacionada à cadeia produtiva do setor de base florestal. Esta cadeia engloba a produção, a colheita e o transporte de madeira, além da obtenção de outros produtos do segmento: painéis de madeira industrializada, madeira processada mecanicamente, siderurgia a carvão vegetal e biomassa, entre outros.

As grandes empresas de celulose e papel no Brasil caracterizam-se por serem integradas desde o início da cadeia, ou seja, muitas delas possuem as florestas plantadas que as abastecem. Alguns produtores de fibras são integrados, ou seja, eles mesmos as transformam em papéis. Os produtores não integrados produzem a celulose e vendem para fabricantes de papel, o que se denomina de celulose de mercado.

Nas indústrias integradas, as pastas celulósicas (fibras em meio aquoso) seguem diretamente para as máquinas de papel, enquanto, nas indústrias de mercado, passam por um processo de secagem e, após a formação de folhas de fibras, são cortadas e empacotadas em fardos. A celulose é denominada de mercado quando destinada à comercialização, representando aproximadamente 25% da produção mundial (BIAZUS et al., 2010).

Produção, Comércio Exterior e Consumo Mundial

Entre 1980 e 2004, a produção de polpa em nível mundial quase que dobrou, enquanto no Brasil cresceu mais de três vezes. Em 2012, os

Estados Unidos e Canadá lideraram o ranking com 40% da produção mundial. Em terceiro situou-se o Brasil, com 8,3% da produção mundial, seguido da Suécia (7,1%), Finlândia (6,0%) e China (5,1%). A Tabela 1 mostra informações sobre o posicionamento dos países na produção mundial de celulose.

Tabela 1. Principais países produtores de celulose em 2012 (em toneladas)

Ranking	País	Produção / toneladas	Participação mundial
1	EUA	51.514.744	29,6%
2	Canadá	17.850.000	10,3%
3	Brasil	14.401.000	8,3%
4	Suécia	12.394.151	7,1%
5	Finlândia	10.440.000	6,0%
6	China	8.824.200	5,1%
7	Japão	8.722.000	5,0%
8	Rússia	8.261.394	4,8%
9	Indonésia	6.605.000	3,8%
10	Chile	5.080.000	2,9%
	Mundo	173.793.580	

Fonte: FAOSTAT (2014); Associação Brasileira de Celulose e Papel (2014).

Entre 2002 e 2012, a taxa de crescimento geométrica da produção mundial de celulose foi de 2,7% ao ano (FAOSTAT, 2014). Estima-se um crescimento anual de 2% a.a durante os próximos 10 anos. Até 2021, a produção de celulose atingirá aproximadamente 210 milhões de toneladas. Este crescimento na produção mundial de celulose irá acelerar a demanda por fibra de madeira para celulose, com impactos significativos sobre os preços da madeira nas diferentes regiões produtoras (GHOURI, 2012).

A Tabela 2 evidencia dados sobre a capacidade de produção de celulose em 2013 segundo diferentes processos produtivos. Verifica-se

que o processo mais utilizado para a obtenção de celulose é o químico. Nos EUA, a capacidade de produção de polpa química em 2013 foi de 48.174 mil toneladas, seguida de polpa termo-mecânica (3.407 mil toneladas), semiquímica (3.248 mil toneladas) e mecânica (1.434 mil toneladas).

Em relação ao processo de branqueamento da celulose, na maioria dos países predomina o processo de sulfato-soda (70% da fabricação mundial da pasta), no qual são utilizados hidróxido de sódio e sulfeto de sódio no cozimento da polpa. Nos EUA, este processo foi responsável pelo branqueamento de 26.696 mil toneladas de celulose sulfato-soda (FAOSTAT, 2014). Já o branqueamento da celulose por meio de sulfito ácido de cálcio é muito menos utilizado, caracterizando um processo de polpação ácido e de baixo rendimento (BIAZUS et al., 2010).

A Tabela 3 quantifica o consumo aparente de celulose em 2012 no mundo. O cálculo para a obtenção do consumo aparente foi realizado pela somatória entre produção e importações, excetuando-se as exportações.

Em 2012, o consumo aparente mundial foi de 172,7 milhões de toneladas. Os EUA são o principal consumidor de celulose (48,6 milhões de toneladas em 2012), seguido da China (25,1 milhões de toneladas).

Nos últimos anos, a redução do dinamismo do mercado de celulose resultou em uma diminuição do consumo de fibra de madeira na indústria de celulose. Em 2013, o consumo caiu 3,9% em relação ao ano de 2012, atingindo o segundo nível mais baixo dos últimos 10 anos. Europa Ocidental e América do Norte, tradicionalmente as principais regiões consumidoras mundiais, tendem a perder participações para regiões que possuem rápida expansão no fornecimento de fibra de madeira para celulose. Estima-se que dentro de cinco anos, a Ásia irá superar a América do Norte como principal região consumidora de toras de madeira para celulose (UNECE-FAO, 2013).

Tabela 2. Capacidade de produção de celulose segundo diferentes processos em 2013 (em mil toneladas)*

Processo	EUA	Brasil	Japão	Suécia	Finlândia	Rússia	Portugal	Alemanha
Polpa de madeira para papel e papelão	56.263	18.403	15.820	12.591	11.772	9.580	3.165	3.031
Polpa mecânica	1.434	213	1.470	3.971	1.612	900		1.028
Polpa termo-mecânica	3.407	555	2.056		2.570	850		365
Polpa semi-química	3.248	50	656			730		
Polpa química (total)	48.174	17.585	11.638	8.620	7.590	7.100	3.165	1.638
Celulose sulfito não-branqueada	-					290		
Celulose sulfito branqueada	262	36	8			160	115	
Celulose sulfato não-branqueada	21.216	2.370	2.519		690	4.720	245	
Celulose sulfato-soda branqueada	26.696	15.179	9.111	4.260	6.900	1.930	2.805	
Celulose solúvel	1.145	500	282			170		

Fonte: FAO (2013).

* Note-se que a Tabela não especifica dados para alguns países produtores como a China, basicamente porque alguns países não forneceram informações para o levantamento realizado pela FAO.

Tabela 3. Consumo aparente de celulose em 2012 (em toneladas)

País	Consumo / toneladas
EUA	48.682.029
China	25.166.452
Japão	10.201.004
Suécia	9.566.988
Finlândia	8.226.836
Canadá	8.209.409
Rússia	6.123.534
Brasil	5.912.457
Indonésia	4.743.542
Chile	776.817
Mundo	172.758.823

Fonte: FAOSTAT (2014).

Custos e Preços Mundiais

Em termos mundiais, tem ocorrido um aumento dos investimentos em mercados emergentes como a América do Sul, Oriente Médio, Norte da África e Ásia. Já na Europa e na América do Norte, o setor vem realizando investimentos na chamada “tecnologia verde”, como biorrefinarias e biocombustíveis à base de madeira, dada a busca por diversificação de receitas, por exemplo, por meio da geração de energia a partir de biomassa e licor negro (UNECE-FAO, 2013).

No decorrer de 2011 e 2013 o custo de fibra de madeira sofreu um decréscimo, por conta da redução da produção de papel e celulose. Este fato é atribuído à queda do dinamismo do mercado, sendo que a indústria buscou reduzir custos para se manter competitiva. No período 2012 e 2013, os custos de fibra de madeira representaram entre 55% e 70% dos custos totais de produção.

Em 2013, os preços da fibra de madeira na Ásia e no leste do Canadá foram sensivelmente menores do que na Europa e na América Latina em comparação com 2012. No Brasil, o preço da madeira de eucalipto para celulose caiu em relação a 2011, situando o país dentre a categoria de países com menores custos da madeira atrás da Rússia, EUA e Chile.

Por outro lado, a Tabela 4 evidencia os preços para a celulose de fibra longa e fibra curta nos EUA e na Europa em 2014. Nos EUA, em 2014 os preços da celulose de fibra longa atingiram US\$ 1.019,86/t (em 25 de março de 2014), um pouco acima dos valores verificados na Europa (US\$ 921,90/t) no mesmo período.

Tabela 4. Preços da celulose em países selecionados (em US\$/tonelada)

Data	Celulose fibra longa nos EUA	Celulose fibra longa na Europa	Celulose fibra curta nos EUA	Celulose fibra curta na Europa
25/03/2014	1.019,86	921,90	765,33	771,38
18/03/2014	1.017,06	921,17	764,72	764,99
01/01/2014	990,32	908,36	769,57	783,96

Fonte: Foex Indexes (2014).

Já a Figura 2 evidencia a evolução dos preços da celulose de fibra curta na Europa, China e no Brasil entre 2008 e 2013. Em todas estas regiões verificou-se uma forte queda nos preços em 2009, após uma tendência de elevação dos preços da fibra de madeira verificada desde o ano de 2002.

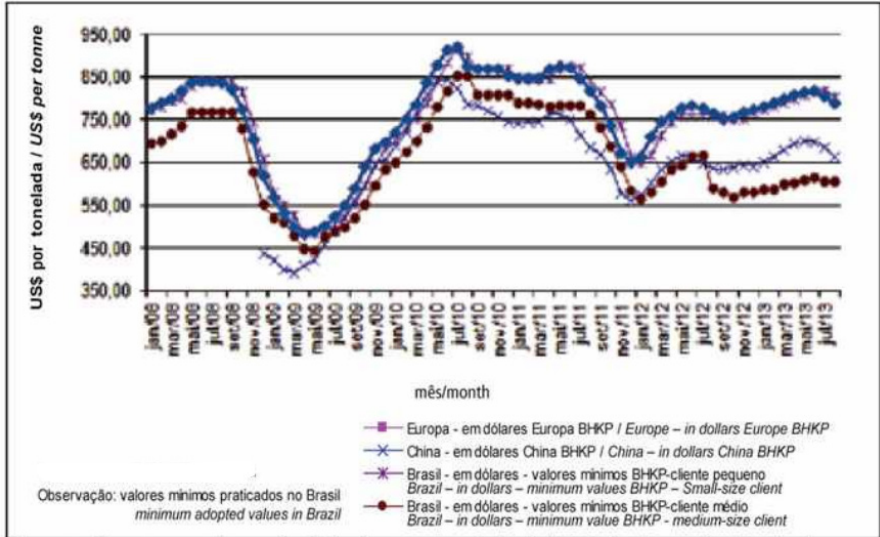


Figura 2. Evolução dos preços da celulose de fibra curta na Europa, China e no Brasil (US\$/t). Fonte: BACHA (2013).

Caracterização da Indústria Brasileira

A evolução da produção brasileira de pastas de celulose apresenta três fases de crescimento. De 1971 a 1980, houve um incremento na produção de 14,23% a.a. Entre 1980 e 1990, o crescimento foi de 3,77% a.a, ao passo que no período de 1990 a 2005, a taxa de crescimento foi de 5,38% a.a. As pastas de alto rendimento (PAR) apresentaram nas três fases mencionadas aumentos de 5,27% a.a, 9,04% a.a e 0,69% a.a, respectivamente (SANJUAN; BACHA, 2006).

O Brasil situa-se entre os maiores países produtores de celulose do mundo. Entre 1961 e 1970, o país passou da 12^a para a 18^a posição. Já no período de 1993 a 2004, o Brasil saltou para a 7^a posição. Vale

destacar a posição consolidada dos Estados Unidos e do Canadá na 1^a. e a 2^a. posições, respectivamente, ao longo de todo período.

Desviando-se da trajetória existente à base de fibra longa, o Brasil criou uma variante da trajetória tecnológica à base de eucalipto na década de 50, até então inexistente nos mercados nórdicos e norte-americano. A exploração de atividades florestais permitiu que as empresas de papel e celulose desenvolvessem uma produção com base em fibra curta de eucalipto, valendo-se de condições regionais específicas (SOUZA, 2013).

O desempenho atual do país é atribuído ao aumento de sua competitividade, com produção de celulose brasileira a partir de madeira oriunda de florestas plantadas. De modo geral, a competitividade brasileira em celulose decorre do menor tempo de crescimento das árvores, das condições climáticas favoráveis, eficiência no manejo florestal e melhoria nos custos de produção. Por sua vez, a melhoria da produtividade acarretou custos decrescentes, fruto das pesquisas e inovações tecnológicas no setor de celulose e papel.

Na busca por novas áreas de reflorestamento e com baixo custo de produção, as empresas de celulose estão utilizando áreas previamente ocupadas por pecuária, tais como o sul do Rio Grande do Sul, o sul da Bahia e Mato Grosso do Sul.

Produção e Comércio Exterior

Altos investimentos da indústria e o desenvolvimento econômico do Brasil tiveram impactos expressivos na produção de celulose entre 2002 e 2012. O setor quase dobrou o volume de celulose produzida nesse período, com um crescimento médio de 5,7% ao ano, números singulares se comparados aos mercados mais tradicionais dessa indústria (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, 2013; BIAZUS et al., 2010). Este desempenho foi um reflexo do aumento das exportações para os mercados asiático e europeu.

Em 2008, o setor teve um grande impulso e o país alcançou o posto de quarto produtor mundial de celulose, atrás apenas de Estados Unidos, Canadá e China. Este resultado foi obtido em um período adverso, durante a crise financeira internacional. A posição foi mantida em 2010, quando o setor produziu 14 milhões de toneladas de celulose. Atualmente, o país é o 3º maior produtor mundial de celulose entre os produtores integrados, atrás apenas dos Estados Unidos e Canadá, sendo o 1º entre os produtores não integrados (FAOSTAT, 2014; ABRAF, 2013; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, 2013; BIAZUS et al., 2010).

A Figura 3 mostra a evolução da produção de celulose entre 2002 e 2012. A produção passou de 8 milhões de toneladas em 2002 para 13,9 milhões de toneladas em 2012. Já o consumo interno, cresceu bem menos no mesmo período, passando de 5 milhões toneladas em 2002 para 5,8 milhões toneladas em 2012 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, 2014). Estes dados diferem um pouco dos dados anteriormente apresentados na seção anterior (dados da FAOSTAT, 2014), em virtude das diferenças metodológicas entre elas.

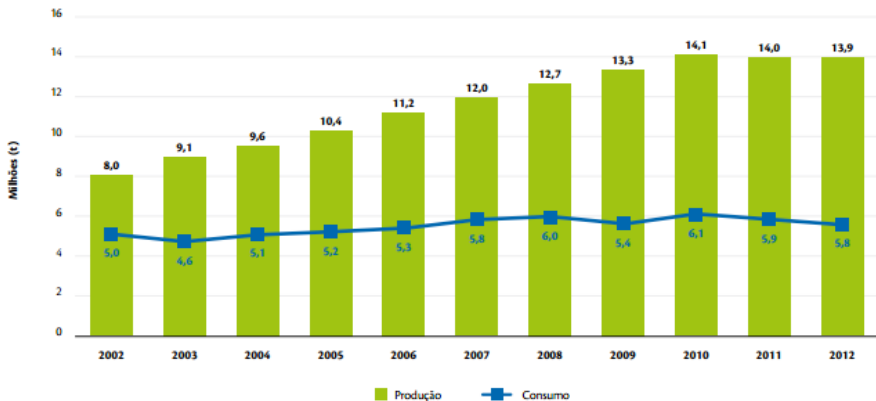


Figura 3. Evolução da produção e consumo de celulose no Brasil.

Fonte: ABRAF (2013).

Em 2013, as empresas do setor de celulose sofreram com a forte queda nos preços internacionais do produto, resultado da demanda internacional retraída e da sobrevalorização cambial no primeiro semestre do ano (ABRAF, 2013). Mesmo assim, a produção aumentou em 2013, atingindo 15.029 mil toneladas. A Tabela 5 mostra dados para a produção, vendas, comércio e consumo de celulose no Brasil em 2013.

Tabela 5. Produção, vendas, comércio exterior e consumo de celulose no Brasil em 2013 (mil toneladas)

Descrição	Produção	Vendas domésticas	Exportações	Importações
Fibra curta	12.743	1.467	9.421	1
Fibra longa	1.769	51	8	429
Pastas de alto rendimento	517	132	-	-
Total	15.029	1.650	9.429	430

Fonte: Associação Brasileira de Celulose e Papel (2013).

Já as exportações e importações totalizaram 9.429 mil toneladas e 430 mil toneladas em 2013, respectivamente. O crescimento das exportações brasileiras de celulose nos últimos anos deveu-se ao estabelecimento de unidades produtivas voltadas a atender o mercado externo. A Tabela 6 mostra dados para a participação do setor de celulose e papel na balança comercial brasileira no período entre janeiro a novembro.

As exportações do setor de celulose e papel representaram 2,9% do total exportado pelo país em 2013. As importações do setor representam uma fatia bem menor na pauta de importações brasileiras (0,8%).

Tabela 6. Participação do setor de celulose e papel na balança comercial brasileira (jan-nov) (em US\$ Milhões FOB)

Descrição	Brasil			Papel e celulose (jan-nov.)			Part. %	
	2012	2013	Var. %	2012	2013	Var. %	2012	2013
Exportações	22.831	221.333	-0,7	6.012	6.505	8	2,7	2,9
Importações	205.671	221.424	7,7	1.813	1.723	-5	0,8	0,8
Saldo	17.160	-91		4.199	4.782	13,9		

Fonte: Associação Brasileira de Celulose e Papel (2013).

Capacidade de Produção

Em 1998, uma nova fábrica de celulose apresentava uma escala mínima de produção de 500 mil t/ano. Já em 2008, esta escala tinha subido para 1,5 milhão de t/ano, demandando investimentos de cerca de R\$ 3 bilhões a R\$ 4 bilhões (incluindo o investimento florestal).

Em 2008, a indústria brasileira de celulose integrada e de mercado tinha capacidade instalada de 14,3 milhões de t/ano. Neste universo, sobressaíam Fibria, Suzano, Klabin e Cenibra que, juntas, foram responsáveis por 67% desse total.

No que se refere à celulose de fibra longa branqueada, em 2008 existiam 10 fabricantes com capacidade total de 1,8 milhão de t/ano, destacando-se Klabin, Rigesa e Grupo Orsa, detentores de 71% da capacidade total. Na produção da celulose de fibra curta branqueada, a capacidade instalada era de 11,4 milhões de t/ano, distribuídos em 13 empresas. Destacavam-se Fibria, Suzano e Cenibra, com 69% do total. No mesmo ano, em pastas de alto rendimento, a capacidade instalada era de 612 mil t/ano em cerca de 30 empresas, com destaque para Norske Log e StoraEnso (48% do total). Já a capacidade instalada na produção de celulose solúvel era de 505 mil t/ano, concentrada em

três empresas, sendo 85% deste total pela Bahia Specialty Cellulose (BIAZUS et al., 2010).

Atualmente, a maior empresa mundial na produção de celulose de mercado é a brasileira Fibria. Esta empresa foi criada em 2009, resultante da aquisição da Aracruz Celulose pela Votorantim Celulose e Papel (VCP). As duas principais fontes de madeira utilizadas para a produção de celulose no Brasil são as florestas plantadas de pinus e de eucalipto, responsáveis por mais de 98% do volume produzido (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, 2013). A celulose também pode ser obtida de outros tipos de plantas, não-madeiras, como bambu, babaçu, sisal e resíduos agrícolas como o bagaço de cana-de-açúcar.

A Tabela 7 evidencia a capacidade de produção da produção de celulose no Brasil em 2012 e 2013 segundo diferentes processos, traçando estimativas da capacidade entre 2014 e 2017. A capacidade de produção de celulose de mercado representou 18% do total da capacidade de produção de celulose em 2013, um aumento expressivo em relação a 2012, cuja participação foi de 10,6% (FAO, 2013).

Estima-se que a capacidade de produção total aumente de 19.903 mil toneladas em 2014 para 24.403 mil toneladas em 2017 (FAO, 2013).

Em relação ao tipo de processo, a tendência é que esta expansão da capacidade ocorra em termos de polpa química, com a produção de polpa mecânica, termomecânica e semiquímica permanecendo estável.

No processo de branqueamento, a capacidade de produção da celulose sulfato-soda poderá aumentar de 16.679 mil toneladas em 2014 para 21.179 mil toneladas em 2017.

Tabela 7. Evolução da capacidade de produção de celulose no Brasil segundo diferentes processos (mil toneladas)

Processo	2012		2013		2014		2015		2016		2017	
	Capac Total	Celulose de mercado	Capac Total	Celulose de mercado	Capac Total	Celulose de mercado	Capac Total	Celulose de mercado	Capac Total	Celulose de mercado	Capac Total	Celulose de mercado
Polpa de madeira para papel e papelão	16.903	1.791	18.403	3.291	19.903	4.791	21.403	6.291	22.903	24.403		
Polpa mecânica	213	90	213	90	213	90	213	90	213	213	213	213
Polpa mecânica (não- conífera)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Polpa mecânica (conífera)	213	90	213	90	213	90	213	90	213	213	213	213
Polpa termo-mecânica	555	70	555	70	555	70	555	70	555	555	555	555
Polpa termo-mecânica (não- conífera)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Polpa termo-mecânica (conífera)	555	70	555	70	555	70	555	70	555	555	555	555
Polpa semiquímica	50	-	50	-	50	-	50	-	50	50	50	50
Polpa semiquímica (não- conífera)	50	-	50	-	50	-	50	-	50	50	50	50

Continua...

Tabela 7. Continuação.

Processo	2012		2013		2014		2015		2016		2017	
	Capac Total	Celulose de mercado	Capac Total	Celulose de mercado	Capac Total	Celulose de mercado	Capac Total	Celulose de mercado	Capac Total	Celulose de mercado	Capac Total	Celulose de mercado
Polpa semiquímica (conífera)	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Polpa química (total)	16.085	1.631	17.585	3.131	19.085	4.631	20.585	6.131	22.085	6.131	23.585	
Celulose sulfito branqueada	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Celulose sulfito branqueada (não-conífera)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Celulose sulfito branqueada (conífera)	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Celulose sulfato não-branqueada	2.370	55	2.370	55	2.370	55	2.370	55	2.370	55	2.370	2.370
Celulose sulfato não-branqueada (não-conífera)	670	10	670	10	670	10	670	10	670	10	670	670
Celulose sulfato não-branqueada (conífera)	1.700	45	1.700	45	1.700	45	1.700	45	1.700	45	1.700	1.700

Continua...

Tabela 7. Continuação.

Processo	2012		2013		2014		2015		2016		2017	
	Capac Total	Celulose de mercado	Capac Total	Celulose de mercado	Capac Total	Celulose de mercado	Capac Total	Celulose de mercado	Capac Total	Celulose de mercado	Capac Total	Celulose de mercado
Celulose sulfato-soda branqueada	13.679	1.540	15.179	3.040	16.679	4.540	18.179	6.040	19.679	21.179		
Celulose sulfato-soda branqueada (não-conífera)	13.598	1.500	15.098	3.000	16.598	4.500	18.098	6.000	19.598	21.098		
Celulose sulfato-soda branqueada (conífera)	81	40	81	40	81	40	81	40	81	81		
Celulose solúvel	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500		
Celulose solúvel de não-coníferas	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500		
Celulose solúvel de coníferas	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Fonte: FAO (2013).

Custos

O custo da madeira é um aspecto bastante relevante para o setor, refletindo a vantagem no crescimento de florestas. Este custo se relaciona à localização geográfica e aos investimentos em pesquisa e melhoramento genético de espécies. Em 2008, os custos da madeira apresentaram variações de US\$ 115/t a US\$ 344/t para a celulose de fibra longa e de US\$ 104/t a US\$ 350/t para a celulose de fibra curta (BIAZUS et al., 2010). A Figura 4 ilustra que os custos chegaram a atingir mais de 40% do custo total da produção da celulose.

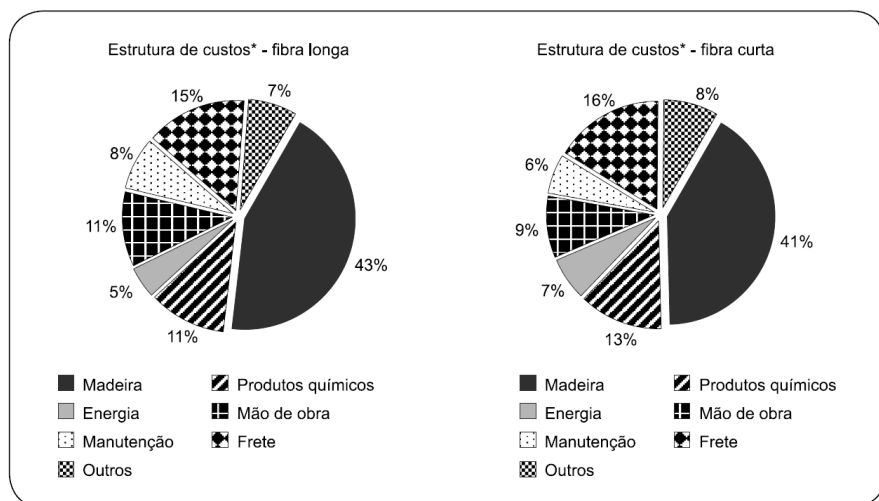


Figura 4. Composição dos custos médios de produção da celulose no mundo

Fonte: Biazus et al. (2010).

Quanto ao aspecto logístico é importante que as fábricas, sobretudo as não integradas, estejam próximas de estruturas capazes de facilitar o escoamento da produção com os menores custos possíveis, como ferrovias, hidrovias e portos. Por esse motivo, as fábricas de celulose situam-se perto de portos, ferrovias e rios e concentram-se nas regiões Sul e Sudeste do país, que têm 77% da capacidade total instalada. Fora do eixo Sul-Sudeste, sobressaem os investimentos na Bahia.

Quanto mais distante desta estrutura, maior o desafio de escoamento da produção a custos competitivos, sobretudo no que diz respeito às indústrias de mercado. Em 2008, a amplitude desse custo variou de US\$ 44/t a US\$ 105/t para a celulose de fibra longa e de US\$ 49/t a US\$ 114/t para a celulose de fibra curta.

No que se refere aos produtos químicos, cabe destaque para a soda cáustica, principal produto utilizado na fabricação da celulose por processo *Kraft*, em volume. Entre os principais países produtores, a variação desse custo em 2008 foi de US\$ 33/t a US\$ 73/t para a celulose de fibra longa e de US\$ 21/t a US\$ 75/t para a celulose de fibra curta (BIAZUS et al., 2010).

A energia é outro elemento importante na estrutura de custos, sobretudo por conta da elevação do consumo mundial e da escassez de fontes convencionais, normalmente associadas a custos menores de geração.

Resíduos do Processo Produtivo – o Licor Negro

A produção do licor negro (lixívia) origina-se dos produtos químicos e da lignina componente da madeira no processo de polpação química, na fabricação de celulose, sendo queimado em uma caldeira de recuperação de químicos para a produção de vapor e eletricidade.

O crescimento do consumo deste subproduto acompanha o ritmo de produção de celulose, de modo que alterações no perfil da produção induzem alterações no consumo de lixívia.

No Brasil, segundo dados do Banco de Informações de Geração (BIG) da Aneel (2014), em abril de 2014 existiam 16 usinas de licor negro no país, com uma capacidade instalada de 1.530.182 kW, ou seja, 1,2% da capacidade total brasileira (Tabela 8). Esse valor é muito superior à capacidade instalada de usinas que utilizam apenas a madeira, de

432.635kW, ou 0,31% do total. Entre as fontes de biomassa, destaca-se a elevada utilização do bagaço de cana-de-açúcar, com 6,8% da capacidade instalada no país (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2014).

Tabela 8. Empreendimentos em Operação Envolvendo Energia da Biomassa

Resíduo	Número de empresas	Potência gerada / kW	% sobre total da capacidade brasileira
Bagaço de cana	378	9.339.426	6,85%
Licor negro	16	1.530.182	1,12%
Madeira	51	432.635	0,32%
Biogás	24	84.937	0,06%
Casca de arroz	9	36.433	0,03%
Total	478	11.423.613	8,38%

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2014).

Em 2014, o maior potencial de geração de licor negro no Brasil foi apresentado pela Suzano no Maranhão (258.840 kW). O grupo possui duas unidades de geração de licor negro com capacidade de 468.840 kW, seguido pelo grupo Aracruz (420.600 kW) e pelo grupo Klabin (184.887 kW).

Considerações Finais

Este documento teve o objetivo de mostrar uma breve caracterização técnica da celulose, bem como apresentar informações sobre a dinâmica de mercado deste material.

A celulose, importante material orgânico é o principal componente da parede celular da maioria dos vegetais. Na indústria de papel e derivados encontram-se os principais métodos para a extração da celulose. Dentre

estes métodos destacam-se o rompimento das ligações das estruturas da madeira por meio de ação mecânica e através da ação de produtos químicos. Também existem combinações desses dois métodos, como os métodos quimiomecânico, termomecânico e semiquímico.

Atualmente, a celulose apresenta várias aplicações que vão além do escopo da cadeia produtiva do algodão e da indústria de papel e celulose. Estas aplicações utilizam de sua biodegradabilidade, grande disponibilidade e baixo custo como, por exemplo, a formulação de hidrogéis, microcápsulas, filmes e reforço de compósitos na forma de fibras. Porém, a celulose e seus derivados, tais como nitrato de celulose, xantato de celulose, acetato de celulose, entre outros, são utilizados a mais de um século na confecção de diversos materiais.

No que se refere ao mercado da celulose, verifica-se nesta indústria a elevada intensidade em capital fixo, retornos crescentes de escala e longos prazos de amortização dos investimentos. Entre 2002 e 2012, a taxa de crescimento geométrica da produção mundial de celulose foi de 2,7% ao ano (FAOSTAT, 2014). Estima-se um crescimento anual de 2% a.a durante os próximos 10 anos.

O processo mais utilizado para a obtenção de celulose é o químico. Nos EUA, a capacidade de produção de polpa química em 2013 foi de 48.174 mil toneladas, seguida de polpa termo-mecânica (3.407 mil toneladas), semiquímica (3.248 mil toneladas) e mecânica (1.434 mil toneladas).

Em relação ao processo de branqueamento da celulose, na maioria dos países predomina o processo de sulfato-soda (70% da fabricação mundial da pasta), no qual são utilizados hidróxido de sódio e sulfeto de sódio no cozimento da polpa.

No Brasil, entre 2002 e 2012, o setor de celulose quase dobrou o volume produzido nesse período, com um crescimento médio de 5,7% ao ano, números singulares se comparados aos mercados mais tradicionais dessa indústria (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE

E PAPEL, 2014; BIAZUS et al., 2010). A produção passou de 8 milhões de toneladas em 2002 para 13,9 milhões de toneladas em 2012, revelando um mercado bastante dinâmico e com crescimento expressivo.

Deste modo, constata-se a elevada importância que este material apresenta para o mercado mundial e brasileiro, em virtude de usos diversos e de suas características físico-químicas que garantem elevada funcionalidade.

Referências

ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF 2013**: ano base 2012. Brasília, DF, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Banco de Informações de Geração (BIG)**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 22 abr. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Conjuntura Bracelpa**. Associação Brasileira de Celulose e Papel, fev. 2014. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/conjuntura/CB-063.pdf>>. Acesso em: 27 mar. 2014.

BACHA, C. J. C. **Preços da BHKP já completam dois meses de queda na Europa, na China e no Brasil**. Disponível em: <<http://www.sinpacel.org.br/informativos/2013/setembro/indicadores-de-preco.pdf>>. Acesso em: 27 mar. 2013.

BIAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. Panorama de mercado: celulose. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 32, p. 311-370, 2010.

BRASIER, J. **Cellophane** – The deceptively versatile non-plastic. **Materials & Design**, Surrey, v. 7, n. 2, p. 65-67, 1986.

CAMPBELL, N. A.; REECE, J. B. **Biologia**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

FAO. **Pulp and paper capacities 2012-2017**. Rome, 2013.

FAOSTAT. **Forestry 2012**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/626/DesktopDefault.aspx?PageID=626#ancor>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions**. Munchen: Kessel, 2003.

FOEX INDEXES. **The pix pulp benchmark indexes**. Disponível em: <<http://www.paperage.com>>. Acesso em: 27 mar. 2014.

GRANBIO. **GranBio inicia produção de etanol de segunda geração**. Disponível em: <http://www.granbio.com.br/wp-content/uploads/2014/09/partida_portugues.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2015

GHOURI, W. Risi viewpoint: world pulpwood study. **RISI Wood Biomass Market**, 04 out. 2012.

KAMIDE, K. **Cellulose and cellulose derivatives**. [S.l.]: Elsevier, 2005.

KLEMM, D.; HEUBLEIN, B.; FINK, H.-P.; BOHN, A. Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. **Angewandte Chemie**, Weinheim, v. 44, n. 22, p. 3358-3393, 2005.

O'SULLIVAN, A. C. Cellulose: the structure slowly unravels. **Cellulose**, Dordrecht, v. 4, n. 3, p. 173-207, 1997.

OTT, E.; SPURLIN, H. M.; GRAFFLIN, M. W. **Cellulose and cellulose derivatives: Part II**. New York: Interscience Publishers, 1954.

SANJUAN, A. E.; BACHA, C. J. C. Desempenho do Brasil. **Agroanalysis**, São Paulo, v. 26, n. 7, 2006.

SIMON, J.; MULLER, H. P.; KOCH, R.; MULLER, V. Thermoplastic and biodegradable polymers of cellulose. **Polymer Degradation and Stability**, Oxon, v. 59, n. 1-3, p.107-115, 1998.

SOUZA, D. T. **Demanda e intensidade do uso de materiais básicos em economias recentemente industrializadas**. 2013. 188 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.

TREIBER, E. E. Formation of fibres from cellulose solutions. In: NEVELL, T. P. and ZERONIAN, S. H. (Ed.). **Cellulose chemistry and its applications**. New York: John Wiley, 1985. Chapter 18, p. 455-479.

UNECE-FAO. **Forest Products: annual market review 2012-2013**. Geneva, 2013.

Embrapa

Agroenergia

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PÁTRIA EDUCADORA