

# P A P E L

## Como se fabrica?

**Celênia Pereira Santos, Iêda Nunes dos Reis, José Eduardo Borges Moreira e Lilian Borges Brasileiro**

Diferentes propriedades químicas e físico-mecânicas do papel permitem suas inúmeras aplicações e o tornam um dos materiais mais importantes e versáteis em nosso dia-a-dia. Os fatores que determinam essas propriedades estão relacionados, principalmente, à matéria-prima, aos reagentes químicos e aos processos mecânicos empregados em sua produção. Neste artigo são discutidos muitos desses aspectos, bem como um pouco da história da fabricação do papel e os aspectos ambientais relacionados com a sua produção industrial.

► papel, celulose, fabricação industrial ◀

Recebido em 14/3/01, aceito em 9/4/01

O papel é um dos materiais mais importantes e versáteis que conhecemos e é difícil imaginar como seria o nosso dia-a-dia sem ele. Suas propriedades químicas e físico-mecânicas permitem inúmeras aplicações. Assim, papéis que serão usados para escrita e impressão, como os usados em cadernos e livros, devem ser bem lisos e opacos; aqueles usados na produção de jornais não precisam ter grande durabilidade com relação à branquura (na verdade amarelam-se facilmente), mas devem resistir à tração a que são submetidos nas máquinas de impressão. Já os papéis sanitários (guardanapos, papéis toalha e higiênicos e os usados em fraldas descartáveis e absorventes) devem ser macios. Por outro lado, os papéis usados em embalagens (caixas e sacos) devem apresentar boa resistência, pois não podem romper-se com facilidade. Os fatores que determinam essas propriedades

**A utilização do papel como suporte para a escrita ocorreu inicialmente na China, no ano 105 d.C. Os chineses mantiveram por muitos séculos o segredo de sua fabricação, e a expansão do papel para o Ocidente começou apenas no ano de 751**

dos papéis estão relacionados, principalmente, à matéria-prima, aos reagentes químicos e aos processos mecânicos empregados em sua produção. Muitos desses aspectos são discutidos neste artigo, além de um pouco da história da fabricação do papel e os aspectos ambientais relacionados com a sua produção industrial.

### Contando história

Desde os tempos mais remotos, o homem utilizou diferentes materiais para registrar sua história. Os primeiros suportes empregados foram as cascas e folhas de algumas plantas, rochas e argila, além de peles e ossos de animais. Placas de madeira, recobertas ou não por uma fina camada de cera, e placas de metais como o bronze e o chumbo também foram utilizadas para os mais variados fins.

Dos produtos vegetais empregados para a escrita, o papiro foi o que alcançou maior importância histórica. Não

se sabe ao certo o período exato em que ele passou a ser empregado com essa finalidade, mas acredita-se que os mais antigos datem de 3.500 anos atrás. O papiro foi amplamente utilizado na Antigüidade por egípcios, fenícios e gregos e, também, por povos da Europa durante a Idade Média. Entretanto, o seu escasseamento, associado à impossibilidade de importação em função das guerras, levou à procura de novos materiais para a escrita. Um dos principais substitutos, o pergaminho, já era conhecido e foi o material mais amplamente empregado durante os séculos IV a XVI.

A utilização do papel como suporte para a escrita ocorreu inicialmente na China, no ano 105 d.C. Os chineses mantiveram por muitos séculos o segredo de sua fabricação. A expansão para o Ocidente começou em 751, quando prisioneiros chineses introduziram, na Ásia Central, a indústria do papel. Daí em diante, o uso do papel foi cada vez mais disseminado e surgiram fábricas em cidades como Bagdá e Damasco. Na Europa, a primeira fábrica de papel surgiu na Espanha em 1144 e, ao final do século XVI, o papel já era manufaturado em todo o continente europeu.

A fabricação do papel era, até fins

A seção "Química e sociedade" apresenta artigos que focalizam diferentes inter-relações entre ciência e sociedade, procurando analisar o potencial e as limitações da ciência na tentativa de compreender e solucionar problemas sociais.

do século XVIII, essencialmente manual. A primeira máquina para fabricação de papel surgiu somente em 1798, na França. No Brasil, a produção industrial de papel foi introduzida pelos portugueses no ano de 1890.

## O material e a matéria-prima

O papel é formado por fibras celulósicas que se entrelaçam umas com as outras, garantindo a sua resistência. A principal matéria-prima para a obtenção industrial dessas fibras é a madeira, proveniente do tronco das árvores. Além das fibras da madeira, também podem ser utilizadas as fibras de bambu, bagaço de cana, algodão, linho e sisal. Traços de tecido também chegaram a ser empregados pelos chineses na produção de seus primeiros papéis.

A madeira é formada por vários tipos de células, cujas funções vão desde a sustentação da árvore e o transporte de líquidos até o armazenamento de suprimentos. As paredes das células da madeira são constituídas, essencialmente, por celulose. A celulose é um polissacarídeo formado pela ligação de milhares de monômeros de glicose (Figura 1) produzidos durante a fotossíntese. As células da madeira são unidas por uma substância chamada lignina, que funciona como um cimento, dando-lhe rigidez e resistência. Sua estrutura aromática macromolecular é diferente para cada vegetal e um exemplo é apresentado na Figura 2.

Do ponto de vista químico, as fibras são formadas pelas interações entre as moléculas de celulose, proporcionadas pelas ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxila dos monômeros de glicose (Figura 3). São essas mesmas ligações de hidrogênio que permitem a formação de folhas de papel: além

dos agentes encolantes, as fortes interações entre as fibras são proporcionadas pelas ligações de hidrogênio, garantindo a resistência aos papéis destinados a tão variados fins.

No Brasil, a produção de celulose e papel utiliza essencialmente espécies de eucalipto, que levam de seis a sete anos para atingir a idade de corte (muito menos do que em qualquer outro lugar do mundo!). Para produzir uma tonelada de papel são consumidas cerca de 20 árvores de eucalipto. Algumas espécies de *pinus* também são utilizadas, principalmente na região Sul do país.

A produção de celulose baseia-se principalmente em florestas plantadas, embora alguns países asiáticos, a América do Norte e a Europa ainda utilizem florestas nativas. Aqui no Brasil, as principais áreas de reflorestamento estão localizadas nas regiões Sudeste e Sul, envolvendo os estados de Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Também há áreas de reflorestamento nos estados da Bahia, Pará e Maranhão.

A fim de evitar alguns problemas relacionados à atividade de reflorestamento, como a seleção da fauna, muitas empresas do setor têm preservado áreas de mata nativa próximas à floresta plantada. Essas áreas englobam as margens dos rios e córregos, as nascentes, os lagos e as áreas de declive. Essa preservação minimiza também os problemas de assoreamento dos cursos d'água.

Os grandes avanços nos campos da silvicultura e da biotecnologia permitiram que o Brasil se tornasse o maior

produtor mundial de celulose branqueada de eucalipto (também chamada de celulose de fibra curta), o sétimo produtor mundial de celulose (incluindo fibras curtas e longas, estas últimas provenientes de *pinus*) e o décimo segundo produtor mundial de papel.

## O processo de obtenção de celulose branqueada

A obtenção da celulose que será usada na fabricação do papel começa com o corte das árvores nas áreas de reflorestamento. Após a remoção dos galhos, as toras de madeira são cortadas em tamanhos apropriados e transportadas para a fábrica. Lá, a madeira é descascada e as cascas removidas são utilizadas para geração de energia, por meio de sua queima.

As toras descascadas são lavadas e picadas em cavacos com dimensões específicas, a fim de facilitar a difusão dos reagentes químicos que serão utilizados. Na forma de cavacos, a madeira está pronta para ir para a polpação.

O processo de polpação tem como objetivo facilitar a separação das fibras e melhorar suas propriedades para a fabricação do papel. A polpação pode ser realizada por meio de um processo químico, no qual é retirada da madeira a maior parte da lignina, além de outros constituintes menos abundantes. Com a utilização desse processo químico, somente 40% a 50% da massa total inicial da madeira é aproveitada.

Outros processos, nos quais a madeira é desfibrada mecanicamente com mínima remoção de seus constituintes, também podem ser utilizados. Esses processos levam a um aproveitamento quase total da madeira e, por

**Do ponto de vista químico, as fibras são formadas pelas interações entre as moléculas de celulose, proporcionadas pelas ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxila dos monômeros de glicose**

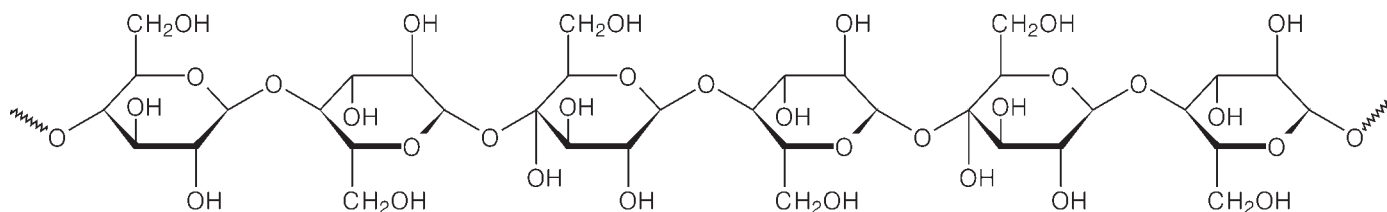


Figura 1: Estrutura de uma cadeia de celulose.

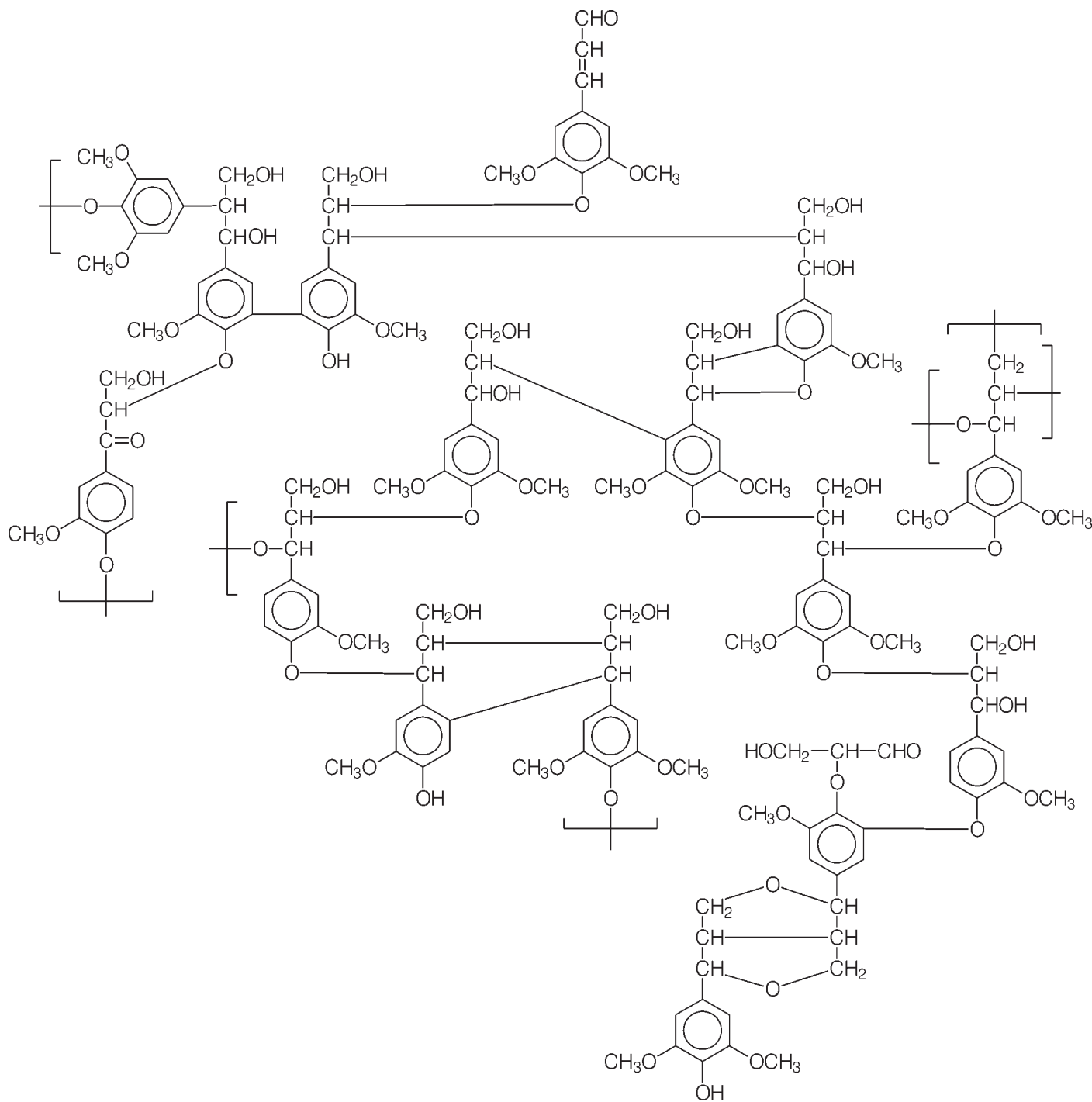


Figura 2: Estrutura proposta para lignina de madeira moída do *Eucalyptus grandis* (Piló-Veloso *et al.*, 1993).

isso, são chamados de polpações de alto rendimento.

O processo químico de polpação mais utilizado no Brasil é o processo *kraft*. Na polpação *kraft*, os cavacos de madeira são submetidos à reação com uma solução contendo hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na<sub>2</sub>S): o "licor branco". Isso ocorre dentro de um equipamento chamado de digestor, mantido a altas pressões e tempera-

turas. Os produtos químicos utilizados reagem com a lignina, fragmentando-a em substâncias de baixa massa molar que se solubilizam na solução alcalina e que podem ser removidas das fibras por inúmeras etapas de lavagem.

A polpa ou pasta celulósica resultante da polpação (polpa marrom) ainda não é adequada para a produção de determinados tipos de papel, exatamente pela sua coloração escura. Essa

coloração é devida, principalmente, a pequenas quantidades de lignina que não foram removidas das fibras, chamada agora de lignina residual.

Com o objetivo de obter polpas totalmente brancas, é necessário remover essa lignina, através de um processo químico de branqueamento. Esse procedimento é muito difícil, já que a lignina residual encontra-se fortemente ligada às fibras. Por isso, o

branqueamento deve ser realizado em diversas etapas, garantindo a obtenção de polpas de alvuras elevadas, com mínima degradação da celulose.

Nos vários estágios do processo de branqueamento da celulose, podem ser utilizados reagentes químicos como cloro ( $\text{Cl}_2$ ), dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ), hipoclorito de sódio ( $\text{NaClO}$ ), oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e ozônio ( $\text{O}_3$ ), dentre outros. Entre um estágio de branqueamento e outro, a polpa é lavada com grande quantidade de água, para que as substâncias responsáveis pela coloração possam ser removidas.

Quando a polpa celulósica atinge um nível de brancura adequado, passa-se à etapa de formação da folha, que é o produto final das fábricas de celulose. Isto é feito em uma máquina especial, na qual a polpa é continuamente depositada

sobre uma tela. Então, a água é removida pela parte de baixo da tela, por vácuo, e em seguida a celulose é seca e enrolada em grandes bobinas. Nem sempre as indústrias que produzem a celulose fabricam também o papel. Assim, para ser enviada às fábricas de papel, a folha de celulose contínua é geralmente cortada em folhas individuais e, então, enfardada.

### A fabricação e os usos do papel

A celulose, branqueada ou não, é empregada na fabricação de inúmeros

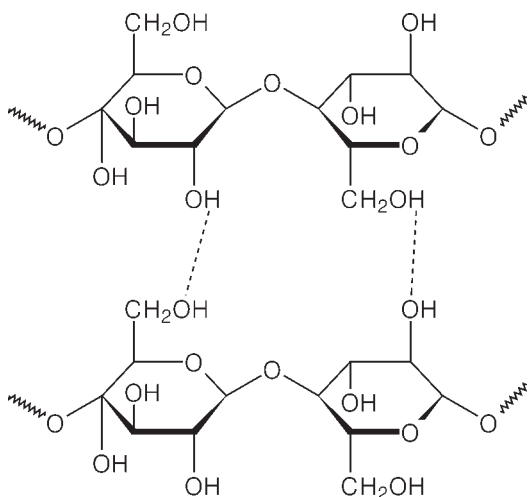


Figura 3: Ligações de hidrogênio entre cadeias de celulose.

tipos de papel. De acordo com sua finalidade, os papéis podem ser classificados em papéis para impressão (acetinado, bíblia, *bouffant*, *couché*, imprensa, jornal, mimeógrafo, monolúcido, *offset*); papéis para escrever (apergaminhado, correspondência aérea, segundas-vias); papéis para embalagem (manilhinha ou de padaria, manilha, tecido, hamburguês, havana, HD, LD, macarrão); papéis para fins sanitários (higiênico, toalha, guardanapo, lenço); cartões e cartolinas; papéis especiais (base para carbono, cigarros e afins; crespado; para desenho; heliográfico; absorventes e filtrantes) e, também, papéis não classificados (*kraft* especial para cabos elétricos, fios telefônicos e condensadores).

Para fazer o papel, a celulose é misturada à água para desagregação das fibras. Al-

gumas vezes, as fibras são submetidas a tratamentos mecânicos (chamados de refino) semelhantes a uma "moagem", para torná-las mais adequadas para a fabricação do papel, tornando-o mais macio, liso, resistente ao rasgo ou mais absorvente. Vários aditivos, como colas, cargas minerais, controladores de pH e corantes, podem ser acrescentados. Além disso, fibras recicladas, obtidas de papéis que já foram usados, também podem ser adicionadas. As quantidades de aditivos ou de fibras recicladas empregadas dependem da finalidade do papel a ser produzido e das exigências do mercado consumidor.

Na máquina de papel, cujo princípio de funcionamento é semelhante àquele descrito para a formação da folha de celulose, é produzida uma folha única de papel, que é enrolada em bobinas e, posteriormente, embalada para ser enviada ao mercado consumidor.

Na máquina de papel, cujo princípio de funcionamento é semelhante àquele descrito para a formação da folha de celulose, é produzida uma folha única de papel, que é enrolada em bobinas e, posteriormente, embalada para ser enviada ao mercado consumidor.

### Questões ambientais

À produção de celulose e de papel estão associados alguns problemas ambientais. Um exemplo são os odores

### Clones de eucalipto?

Muito antes de Dolly entender-se como ovelha, o processo de clonagem já era realizado com sucesso em vegetais, em um processo de reprodução assexuada que tem sido empregado na produção de mudas destinadas aos reflorestamentos que abastecem o mercado de madeira para produção de celulose. A clonagem pode ser realizada pela cultura de tecidos do vegetal, possibilitando melhoramentos genéticos, ou pelo procedimento de estaquia. Nesse último caso, árvores de características adequadas e bem adaptadas a uma dada região são cortadas e, a partir das brotações dos tocos, preparam-se as primeiras mudas. Essas mudas recebem cuidados especiais e fornecem estacas durante todo o ano, sendo, assim, multiplicadas em grande escala. As estacas, plantadas em pequenos tubos, são levadas a casas de vegetação para que ocorra o enraizamento. Em seguida, as mudas produzidas são colocadas em ambientes abertos, onde permanecem até que atinjam o tamanho adequado para o plantio. Através da clonagem é possível reflorestar extensas áreas com árvores idênticas geneticamente, garantindo a qualidade e a uniformidade da matéria-prima, o que favorece a produtividade florestal e industrial.

característicos dos compostos voláteis de enxofre (mercaptanas) que se formam durante a remoção da lignina pelo processo *kraft*. Mesmo em baixas concentrações, a presença desses compostos pode ser facilmente percebida na região que circunda as fábricas. As empresas produtoras de celulose utilizam equipamentos de desodorização e caldeiras de recuperação de produtos químicos e realizam o monitoramento contínuo de suas emissões gasosas. Contudo, o problema ainda não foi totalmente solucionado.

É nos estágios de branqueamento que se encontra um dos principais problemas ambientais causados pelas indústrias de celulose. Reagentes como cloro e hipoclorito de sódio reagem

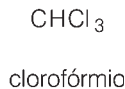
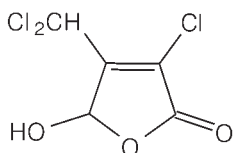
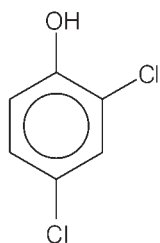
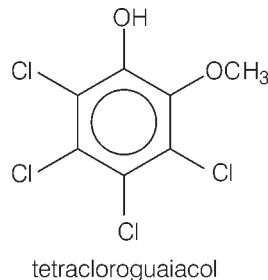
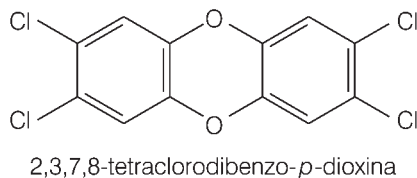


Figura 4: Alguns compostos organoclorados que podem ser formados durante o branqueamento da celulose.

com a lignina residual, levando à formação de compostos organoclorados (Figura 4). Esses compostos não são biodegradáveis e acumulam-se nos tecidos vegetais e animais, podendo levar a alterações genéticas. Legislações ambientais mais severas e pressões dos mercados consumidores de celulose, especialmente do mercado internacional, têm incentivado a busca de alternativas para a solução desse problema. Muitas pesquisas têm sido feitas no sentido de utilizar reagentes alternativos para o branqueamento, como ozônio e peróxido de hidrogênio.

A água industrial, utilizada em grandes quantidades no processo produtivo do papel, é submetida a tratamento biológico antes de retornar aos cursos d'água. Esse tratamento, realizado em lagoas de aeração, promove a degradação de compostos orgânicos solú-

veis por bactérias aeróbias, solucionando parte dos problemas de poluição gerados no processo.

Já os resíduos sólidos gerados em várias etapas da produção são removidos e dispostos em locais apropriados, dentro da área da própria fábrica. Para reduzir a quantidade de resíduos descartados, alguns tipos são aproveitados como adubos ou corretivos do solo.

**Celênia Pereira Santos**, licenciada em biologia pela Pontifícia Universidade Católica, Belo Horizonte, e pós-graduada em educação ambiental pelo CEPENMG – Universidade Estadual de Minas Gerais, é professora da Escola Municipal Professora Eleonora Pieruccetti, em Belo Horizonte. **Iêda Nunes dos Reis**, licenciada em química pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), é professora da Escola Estadual Professora Maria Amélia Guimarães, em Belo Horizonte. **José Eduardo Borges Moreira**, bacharel em comunicação pela UFMG, é professor do Colégio Técnico da UFMG. **Lilian Borges Brasileiro** (lilian@coltec.ufmg.br), bacharel em química, mestre e doutora em química orgânica pela UFMG, é professora do Colégio Técnico da UFMG.

## Referência bibliográfica

PILÓ-VELOSO, D.; NASCIMENTO, E.A. e MORAIS, S.A.L. Isolamento e análise estrutural de ligninas. *Química Nova*, v. 16, p. 435-448, 1993.

## Para saber mais

ALMEIDA, J.M. e SILVA, D.J. Estratégias para incremento de competitividade do setor de celulose e papel brasileiro para o próximo século. *1º Congresso de Tecnologias de Fabricação da Pasta Celulósica*. São Paulo, 5-6 maio, 1998.

ESAUL, K. *Anatomia das plantas com semente*. São Paulo: Edgard Blucher, 1974.

RIBEMBOIM, J. *Mudando os padrões de produção e consumo*. Brasília: Ibama/MMA, 1997.

MARTINS, W. *A palavra escrita: história do livro, da imprensa e da biblioteca*. São Paulo: Ática, 1998.

Folhetos informativos da Cenibra – Celulose Nipo-Brasileira S. A. CGP-R0/EP-01, CGP-R0/EP-02, CGP-R0/EP-03, CGP-R0/EP-04, CGP-R0/CC-02, CGP-R0/CC-03, CGP-R0/CC-09.

<http://www.ufrjr.br/institutos/if/revista/index.htm>, revista *Floresta e Ambiente*.

<http://www.agirazul.com.br>, periódico ambientalista.

<http://www.florestabrasil.com.br>, site especializado em assuntos relacionados aos plantios florestais.

<http://www.asmare.org.br>, Associação dos Catadores de Papel, Papelão e Material Reaproveitável de Belo Horizonte (entidade social que contribui com o meio ambiente e a vida).

<http://www.atr-it.com/usr/on-line>, atelier de conservação e restauração on-line.

**Abstract:** Paper: *How Is It made?* Paper is one of the most important and versatile materials known to us and it is difficult to imagine our day by day without it. Its chemical and physico-mechanical properties allow countless applications. Thus, papers that will be used for writing and printing, as well as those used in notebooks and books, should be very smooth and opaque; those used in the production of newspapers do not need to retain their whiteness for long (in fact they easily become yellowish), but should withstand the traction to which they are submitted in the printing machines. Yet sanitary papers (napkins, towel and toilette paper, and those used in diapers and sanitary pads) should be soft. On the other hand, wrapping paper (boxes and bags) should have a good resistance, since it should not rupture easily. The factors that determine paper properties are related mainly to the raw material, chemicals and mechanical processes used in their production. Many of these aspects are discussed in this paper, besides some of the history of paper making and the environmental aspects related to its industrial production.

**Keywords:** paper, cellulose, industrial production

## Assessores QNESC - 2001

Gostaríamos de agradecer aos assessores que colaboraram, ao longo de 2001, emitindo pareceres sobre os artigos recebidos para publicação em *Química Nova na Escola*.

Adhemar C. Ruvolo Filho  
Aécio P. Chagas  
Alice R. C. Lopes  
Andréa H. Machado  
Antonio A. Mozeto  
Arnaldo A. Cardoso  
Attico I. Chassot  
Carol H. Collins

Éder Tadeu G. Cavalheiro  
Eduardo F. Mortimer  
Elizabeth Macedo  
Evandro A. Nascimento  
Flávia M. T. Santos  
Gerson Mól  
Inês S. Resck  
Joana Mara Santos

João Augusto de M. Gouvêia-Matos  
José Cláudio Del Pino  
Júlio C. F. Lisboa  
Lenir B. Zanon  
Marcelo Giordan  
Marco-Aurelio De Paoli  
Maria Inês Rosa  
Otávio A. Maldaner

Rejane M. N. Barbosa  
Renato José de Oliveira  
Roberto R. da Silva  
Romeu C. Rocha Filho  
Roseli P. Schnetzler  
Wilson de F. Jardim