Artigo

O Papel: Uma Breve Revisão Histórica, Descrição da Tecnologia Industrial de Produção e Experimentos para Obtenção de Folhas Artesanais

Teixeira, M. B. D.; Oliveira, R. A.; Gatti, T. H.; Suarez, P. A. Z.*

Rev. Virtual Quim., 2017, 9 (3), 1364-1380. Data de publicação na Web: 20 de junho de 2017

<http://rvq.sbq.org.br>

PAZS dedica este trabalho ao Prof. Ângelo da Cunha Pinto, um dos principais pesquisadores do Brasil, com quem, entre uma cerveja e outra, compreendeu a interface entre a ciência, a arte e a sociedade.

The Paper: A Brief Historical Review, a Description of the Industrial Production Technology and Experiments for Preparation of Handmade Sheets

Abstract: This work presents relevant aspects of history, chemistry and technology of paper. In addition, two processes were presented to obtain sheets of handmade paper from papyrus (*Cyperus papyrus*) stem and paina (*Ceiba speciosa*). In the case of paina, long cellulose fibers with characteristics suitable to produce hand made paper for inkjet printing were obtained.

Keywords: Papyrus (*Cyperus papyrus*); paina (*Ceiba speciosa*); Paper; Pulp and paper industry.

Resumo

Este trabalho apresenta aspectos relevantes da história, da química e da tecnologia do papel. Além disso, foram apresentados dois processos artesanais para a obtenção de folhas de papel a partir de caule de papiro (*Cyperus papyrus*) e de paina (*Ceiba speciosa*). No caso da paina, foram obtidas fibras de celulose longas e com características adequadas para a produção de papel artesanal para impressão em jato de tinta.

Palavras-chave: Papiro (*Cyperus papyrus*); paina (*Ceiba speciosa*); Papel artesanal; Indústria de celulose e papel.

* Universidade de Brasília, Laboratório de Materiais e Combustíveis - Instituto de Química, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Instituto de Química, sala A1-80/21, CEP 70910-900, Brasília-DF, Brasil.

✉ psuarez@unb.br

DOI: [10.21577/1984-6835.20170079](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170079)

O Papel: Uma Breve Revisão Histórica, Descrição da Tecnologia Industrial de Produção e Experimentos para Obtenção de Folhas Artesanais

Maria Betânia d’Henri Teixeira,^a Robson Alves de Oliveira,^a Thérèse Hofmann Gatti,^b Paulo A. Z. Suarez^a

^a Universidade de Brasília, Laboratório de Materiais e Combustíveis - Instituto de Química, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Instituto de Química, sala A1-80/21, CEP 70910-900, Brasília-DF, Brasil.

^b Universidade de Brasília, Laboratório de Materiais Expressivos - Instituto de Artes, CEP 70919-970, Brasília-DF, Brasil.

* psuarez@unb.br

Recebido em 29 de abril de 2017. Aceito para publicação em 14 de junho de 2017

1. Origem do papel

2. A produção industrial de Papel

- 2.1. Preparação da madeira
- 2.2. Extração da Celulose ou Polpação
- 2.3. Branqueamento da Celulose
- 2.4. Refinação
- 2.5. Secagem e papel acabado

3. Papel Artesanal

- 3.1. Produção de folha de papel a partir de fibras de Papiro (*Cyperuspapyrus*)
- 3.2. Confeção de papel artesanal a partir de paina (*Ceiba speciosa*)

4. Conclusões

1. Origem do papel

Desde os tempos mais remotos, o homem se expressa por meio de desenhos e símbolos gravados nos mais diferentes materiais e superfícies, tais como rochas, ossos, pedra, madeira ou argila (Figura 1). Por exemplo, pinturas ou inscrições em rochas e cavernas que datam de até 60 mil anos ainda hoje são

encontradas em diversas regiões do mundo.^{1,2} Com o avanço de sua capacidade cognitiva e do domínio dos instrumentos, o homem desenvolveu tecnologias que possibilitaram a criação de materiais mais refinados para utilizar como suporte para se expressar feitos a partir de peles e couros, barro cozido (cerâmica), metal, cascas de árvores e outras fibras vegetais.^{1,2} Por exemplo, há cerca de 3.700 a.C. na região do

Egito o homem desenvolveu o papiro como suporte de escrita entre outras utilizações.³ Outro exemplo, são os pergaminhos, cuja invenção é creditada aos Persas, aproximadamente em 200 a.C. no reinado de

Eumenes II de Pérgamo. Estes eram feitos de peles de animais tratadas e que foram utilizadas para a escrita dos habitantes daquela região.

Figura 1. Alguns suportes usados pelo homem para se expressar: (a) pintura em rocha na região de Serranópolis, GO, Brasil; (b) hieróglifos egípcios gravados em alto relevo sobre rocha da região de Luxor, Egito. Fotos: Paulo A. Z. Suarez

No entanto, apesar de sua menor resistência, foram os materiais desenvolvidos a partir de fibras vegetais que se consagraram como suporte para a escrita, devido a sua maior leveza e praticidade. Por volta do ano 3.700 a.C., os egípcios produziram os primeiros suportes a partir do caule de uma planta da família das *cyperaceas*, a *Cyperus papyrus*, com nome popular de papiro, de caules triangulares, altos e flexíveis, que era muito encontrada às margens do rio Nilo. O papiro, planta obtida de lugares quentes, deu origem à palavra papel (do latim: *papyrus*) conhecido hoje. Na Figura 2 é apresentada uma imagem de uma folha feita com fibras de papiro. O processo de produção das folhas de papiro será discutido no item 5.

Por volta do século V, na região da América Central, os povos asteca e maia também desenvolveram seus suportes apropriados e duráveis para a escrita, os quais eram feitos a partir do vidoeiro (*Betula alba* L. e *Betulanigra* L.) e da casca da figueira (*Ficus* sp.), sendo denominados de *huun* e *amate* (Figura 3), respectivamente.^{4, 5} As entrecascas destas árvores é separada da casca e raspada. A fibra é hidratada em água podendo adicionar cinzas vegetais ou carbonato de cálcio. Na sequência, as fibras são dispostas em uma armação e maceradas para que se abram. As fibras são dispostas lado a lado ou perpendicularmente e ao serem maceradas se sobrepõem formando um entrelaçamento, dando origem às folhas.

Figura 2. Reprodução de pintura egípcia recente (2010) em folha feita com fibras de papiro.
Foto: Paulo A. Z. Suarez

Figura 3. Calendário Maia impresso em papel artesanal Amate. Foto: Paulo A. Z. Suarez

O papiro e o amate, apesar de serem feitos com fibras vegetais, diferem do papel que conhecemos, pois a sua produção mantém as fibras inteiras sem a separação da celulose. Assim, eles apresentam uma maior similaridade com as fibras têxteis.

O papel da forma como é conhecido nos dias atuais surgiu por volta de 105 d.C. (século II) na China, e historiadores atribuem o invento ao chinês Ts'ai Lun.^{3, 4, 5} O processo de fabricação se dava pelo cozimento das fibras vegetais não lenhosas, principalmente o algodão, e a pasta formada era peneirada e encaminhada para um processo de secagem, obtendo então o papel. O papel era de boa qualidade e o monopólio de sua produção ocorreu até o ano 751 d.C., quando o exército árabe atacou a cidade de Samarkanda de domínio dos chineses. Os presos foram levados para Bagdá e forçados a produzir papel. Mas somente no século XI a técnica de produção de papel foi levada pelos árabes à Espanha e, conseqüentemente, ao Ocidente.

Com a revolução industrial, bem como com o surgimento dos meios de comunicação impressos (livros, jornais e revistas), o consumo de papel aumentou de forma significativa, fazendo com que houvesse um grande avanço na área.³ Assim, importantes tecnologias surgiram a partir do século XVIII, as quais permitiram a fabricação de papel a partir de madeiras, aumentando significativamente a capacidade de produção devido à maior disponibilidade dessas matérias-primas dos que as tradicionais fibras utilizadas. No início do século XIX, com a descoberta do cloro, processos de branqueamento fizeram com que aumentasse a quantidade de materiais que poderiam ser utilizados na fabricação de papel, amenizando a constante escassez de outras matérias-primas. Além disso, os equipamentos foram modernizados e atingiram elevado grau de automação e produtividade.^{3,4}

A indústria de celulose e papel no Brasil teve desenvolvimento tardio, datando de 1808 com a chegada da família real e de toda a corte portuguesa, impondo a necessidade

de progresso em várias áreas, resultando na criação de instituições, como a Casa da Moeda e o Banco do Brasil, e de iniciativas na área cultural, como a Biblioteca Real e a Academia Real de Belas Artes.⁴ Dessa forma, essas instituições geravam maior demanda por tipografias, inclusive para a impressão e a divulgação dos documentos reais oficiais e de jornais. Frei José Maurício da Conceição Velloso teve então permissão para inaugurar uma fábrica de papel no Brasil, utilizando a embira, arbusto do qual se extrai uma fibra muito resistente, como matéria-prima para a extração da celulose. Há indícios de que alguns pioneiros tentaram aproveitar a presença da família real no Brasil e suas necessidades e instalar manufaturas de papéis, mas foi em 1837 que André Gaillard abriu uma fábrica de papel no Rio de Janeiro com máquinas importadas da França, e, em 1841, outra fábrica foi inaugurada na freguesia do Engenho Velho/RJ pelo escultor Zeferino Ferraz. Ambas as fábricas produziam papel de baixa qualidade, o qual era utilizado apenas para pacotes e embalagens. Mesmo com recursos para melhorar a qualidade do papel, esses empreendedores estrangeiros não conseguiram por falta de mão de obra especializada. Outras fábricas foram instaladas posteriormente, mas somente no fim século XIX a demanda de papéis no Brasil começou a ser suprida. No início do século XX, teve início a utilização do eucalipto como matéria-prima para a celulose, mas foi somente entre 1957 e 1958 que ocorreu a produção industrial massiva de celulose de eucalipto no Brasil.⁴

Atualmente, são produzidos no Brasil desde o papel cartão, papéis de imprimir e escrever, de imprensa, papéis para fins sanitários, como toalhas e papéis higiênicos, até papéis especiais, como papel-moeda, filtros de café, autoadesivos, papéis metalizados, dentre outros.⁴ Isso torna o Brasil um dos grandes produtores mundiais de papel, além de ser pioneiro no cultivo de eucalipto para fabricação de papel, o que o torna em destaque na exportação de celulose de fibra curta.⁶ As indústrias de celulose e papel no Brasil, além de gerarem empregos e riquezas, contribuem para a expansão de

florestas plantadas, visto que toda a celulose produzida é oriunda de matéria-prima renovável.⁶

2. A produção industrial de Papel

A principal matéria-prima para a produção de papel é a celulose, um polímero de cadeia longa, muito abundante na madeira, podendo também ser encontrado em folhosas e em frutos, como o algodão. Esse polímero é formado por unidades monoméricas de glicose. A característica de compostos como a glicose é conter um grupo alcoólico ligado a um átomo de carbono vizinho a um grupo carbonila, podendo este ser um grupo aldeído ou cetona. Assim, esses glicídios podem ser classificados em monossacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos.^{6,7}

Os monossacarídeos ou monoses, ou ainda açúcares simples, são glicídios que não podem ser hidrolisados. Contêm de três a sete átomos de carbono, sendo as pentoses ($C_5H_{10}O_5$) e as hexoses ($C_6H_{12}O_6$) os monossacarídeos mais importantes.⁶ Já os oligossacarídeos são formados pela união de dois a dez monossacarídeos e podem ser hidrolisados, gerando moléculas de

monossacarídeos. Dentre os oligossacarídeos, destacam-se a sacarose (dissacarídeo formado por glicose e frutose) e a lactose (formado por glicose e galactose).⁶ Finalmente, os polissacarídeos, os quais são constituídos por mais de dez monossacarídeos, formando polímeros que podem às vezes ter ramificações. Os polissacarídeos podem ser encontrados armazenados em raízes, caule, sementes e frutos vegetais, como o amido, ou formando a parede celular de vegetais, como a celulose. Há também o glicogênio, que é um polissacarídeo armazenado no fígado e nos músculos.

A celulose é formada pelo monossacarídeo β -D-glicose. O β é referente à posição do grupo OH no carbono 1 e o D (dextrógira), refere-se à sua atividade ótica de girar em sentido horário no plano de vibração da luz polarizada. Na formação da celulose, há reações sucessivas de condensação envolvendo os grupos OH do carbono 1 de uma β -D-glicose com o do carbono 4 de outra β -D-glicose, levando à formação de um grupo éter e à saída de uma molécula de água, conforme apresentado na Figura 4. Assim, a fórmula geral da celulose é $(C_6H_{10}O_5)_n$, sendo o n o grau de polimerização da celulose, ou seja, a quantidade de monômeros de glicose.

Figura 4. Formação da celulose pela condensação de glicose. Fonte: os autores

Além da celulose, outros compostos podem ser encontrados na madeira, tais como as hemiceluloses, a lignina e os extrativos da madeira. Enquanto a celulose representa 40-50 % da composição química da madeira, as hemiceluloses representam 25-35 %, a lignina, 10-30 % e os extrativos, 0,5-5 %.

As hemiceluloses são polissacarídeos ramificados formados por pelo menos duas unidades de açúcares, como as hexoses e pentoses e as oxihexoses e ácidos urônicos. Têm baixo grau de polimerização, são materiais sólidos brancos e têm natureza cristalina, características que conferem às hemiceluloses a propriedade de absorverem água com facilidade. Além disso, apresenta

estrutura fibrosa, a qual está associada às fibras da celulose.⁶

A lignina é uma macromolécula com característica fenólica, cuja estrutura principal provém da condensação de compostos que possuem grupos OH de fenol e álcool. Os principais precursores da lignina são: álcool *trans*-sinapílico (grupo siringil, Figura 5a), álcool *trans*-coniferílico (grupo guaiacil, Figura 5b) e álcool *trans*-para-cumárico (grupo para-hidroxifenil, Figura 5c). A condensação desses compostos, formando grupos éteres e eliminando água, semelhante

à formação da celulose mostrada na Figura 4, leva a uma estrutura molecular bastante complexa e de diferente configuração nas plantas, sendo responsável pela resistência mecânica, transporte de nutrientes, metabólitos e água em plantas vasculares. A presença da lignina na madeira não tem valor para a indústria de celulose e papel, de forma que o principal objetivo para a obtenção da polpa de celulose é a solubilização da lignina que ocorre no processo denominado de polpação.^{3,6,8}

Figura 5. Principais compostos precursores da lignina. Fonte: os autores

Os extrativos são compostos de naturezas diversas, apresentam alta massa molecular e são solúveis em solventes orgânicos ou em água. Esses compostos conferem cor, odor, sabor e resistência à degradação de algumas espécies, de forma que variam bastante em cada espécie de madeira. Normalmente, os extrativos encontrados na madeira são os terpenos e seus derivados, os triglicerídeos (óleos e gorduras e seus derivados) e compostos fenólicos, podendo também ser encontrados aminoácidos, açúcares solúveis e alcaloides.⁶

A indústria de celulose e papel realiza processos químicos e operações unitárias com o objetivo de obter o sólido final composto por celulose e hemiceluloses, solubilizando a lignina, podendo ser englobados nos seguintes processos: (1) Preparação da madeira; (2) Extração da celulose ou polpação; (3) Branqueamento da celulose; (4) Refinação; e (5) Secagem e papel acabado. Estes processos serão descritos a seguir.

2.1. Preparação da madeira

O processo de produção de papel se inicia pela preparação da madeira em condições ideais para o processo de polpação. Inicia-se pela lavagem das toras de madeira, a fim de remover areia ou terra acumulada durante a manipulação dos troncos na floresta ou no pátio da indústria. Após a lavagem, segue-se para a remoção da casca da madeira, também denominado de descascamento. A retirada da casca das toras é realizada por atrito mecânico, no qual o tronco sofre aplicação de jatos de água a alta pressão, liberando as cascas.^{3,6} Também pode ser feita colocando-se as toras em tambores cilíndricos contendo água e, por agitação, as cascas são separadas da lenha.

Após o descascamento, as toras são encaminhadas para a picagem, sendo cortadas em pedaços denominados de cavacos, cuja dimensão deve estar de acordo com o processamento seguinte, a polpação, visto que a sua espessura interfere diretamente no consumo dos reagentes e consequente rendimento da polpa celulósica

obtida. Para isso, os cavacos são classificados por peneiramento, onde os de tamanho médio são encaminhados para o processo de polpação, os maiores retornam para a picagem e os menores são encaminhados para a queima em caldeira.⁶

2.2. Extração da Celulose ou Polpação

Como mencionado anteriormente, a madeira é uma matéria-prima constituída por fibras de celulose que se encontram misturadas com hemicelulose, lignina e extrativos. Para a formação da folha do papel, são usadas essencialmente as fibras de celulose, sendo necessário o uso de energia mecânica ou química para separá-las dos demais constituintes e formar uma massa celulósica denominada polpa. Deve-se salientar que a qualidade do papel vai depender do tamanho das fibras de celulose, que é uma característica da espécie vegetal utilizada como matéria prima, bem como do grau de pureza da polpa, que depende do processo utilizado para a polpação. Assim, o processo a ser utilizado é determinado pelo tipo de papel que se deseja obter.^{3,6} A seguir, são discutidos alguns tipos de polpação.

Processo de Polpação Mecânica

O processo de polpação mecânica é usado para madeiras moles, como os pinheiros do gênero *Pinus* e *Abies*. Nesse processo, os cavacos são moídos em água quente para facilitar o desfibramento e permitir a flutuação das fibras. Também podem ser utilizados vapor saturado a uma temperatura de 120-140 °C para impregnar os cavacos e encaminhá-los a desfibradores de disco.^{3,6} Por não haver remoção total da lignina e demais extrativos nesse processo, o papel obtido é fraco, tornando-se quebradiço e amarelado em pouco tempo. No entanto, esse processo é o mais barato, o que o torna ideal para a confecção de impressos baratos e que não demandem alta durabilidade,

como é o caso da produção de jornais.^{3,9}

Para serem obtidos papéis com uma qualidade um pouco superior, pode-se também realizar um tratamento químico prévio. Para tal, os cavacos de madeira são digeridos em solução de sulfeto de sódio tamponada com carbonato de sódio, a uma pressão de 6,8 a 10,9 atm e temperatura de 160 a 182 °C por um período de 30 a 60 min. A seguir, realiza-se um processo mecânico de moagem, similar ao descrito anteriormente, obtendo-se uma polpa de celulose de resistência mediana e muito utilizada para a produção de papel ondulado, papel jornal, papel de impressão e papel absorvente.³

Processo de Polpação Química

O processo de polpação química é o mais utilizado na indústria de celulose e papel, pois promove a remoção total da lignina (deslignificação) das fibras de celulose e são obtidas fibras mais longas. Esse processo pode ocorrer em dois meios: alcalino e ácido.³

No processo de polpação alcalina, também denominado de *kraft* (forte, em alemão) ou ao sulfato, os cavacos de madeira são digeridos em solução química, sob uma pressão de 6,8 a 9,2 atm, temperatura de 170 a 177 °C, durante 2 a 5 h, podendo ser aplicado a uma grande variedade de espécies de madeira.³ Nesse processo, ocorre a deslignificação sem a degradação ou remoção da celulose, o que torna a polpa obtida de elevada resistência. A solução química utilizada no processo de digestão, denominada "licor de cozimento" ou "licor branco", consiste numa solução aquosa de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S), com pH entre 13 e 14. Os componentes ativos do licor são os íons hidróxido (OH⁻)_{aq} e hidrossulfeto (HS⁻)_{aq}, obtidos pela dissociação de hidróxido de sódio e sulfeto de sódio quando dissolvidos em água, conforme descrito na Equação 1.⁶

Equação 1

O total de íons hidróxido é denominado de álcali efetivo. Os íons hidrossulfeto reagem seletivamente com a lignina, promovendo a quebra de sua cadeia, e preservando as moléculas de celulose. Já os íons hidróxido apresentam seletividade dependente da temperatura, promovendo a hidrólise da lignina, das hemiceluloses e da celulose, sendo que a reação com esta última ocorre em menor escala. Assim, a temperatura e a concentração do licor branco devem ser ajustadas de forma a promover a obtenção de um cozimento ou polpação ideal, retirando uma maior quantidade de lignina sem degradar as fibras de celulose da polpa.⁶ Após a reação, os produtos de hidrólise da lignina e das hemiceluloses, assim como os extratíveis, permanecem em solução, formando o que é denominado de licor negro. A polpa de celulose obtida é muito utilizada na produção de papéis bastante resistentes, como os sacos para cimento, chapas onduladas, papelões usados em caixas, dentre outros.^{3,9}

Já no processo químico de polpação em meio ácido, também denominado de processo ao sulfito, os cavacos de madeira são digeridos em uma mistura de ácido sulfuroso e íons bissulfito a uma pressão de 6,1 a 7,5 atm, a uma temperatura de 125 a 160 °C por um período de 6 a 12 h. A polpa obtida nesse processo é muito utilizada para a produção de papéis brancos, os quais são utilizados para a produção de livros, papéis para uso sanitário, dentre outros.³

2.3. Branqueamento da Celulose

Após o processo de polpação, a polpa celulósica obtida possui coloração marrom devido a parte de lignina dissolvida estar ainda impregnada na celulose. Assim, ela pode ser submetida a um processo de branqueamento para remoção da lignina

residual, o qual consiste no uso de agentes branqueadores, como o hidróxido de sódio, cloro e seus compostos (hipoclorito e dióxido de cloro) e ozônio. Esse processo de branqueamento pode ser considerado como uma continuação da deslignificação, ou seja, ele completa a remoção da lignina iniciada no processo de polpação.^{3,9}

2.4. Refinação

A refinação é um tratamento mecânico, no qual as fibras da polpa de celulose são rompidas em fibrilas, aumentando, assim, a área superficial. Como resultado, quando o papel é formado, obtém-se uma maior superfície de contato e um maior entrelaçamento entre as fibrilas. Dessa forma, a refinação permite alterar a estrutura das fibras da polpa, resultando em propriedades modificadas no papel acabado, como maciez, opacidade, receptividade à tinta e resistência à umidade e ao rasgo.^{5,10}

Existem refinadores em batelada e contínuos. Os refinadores em batelada, hoje pouco utilizados industrialmente, mas ainda comuns em ateliers de papel artesanal, são conhecidos como "Holandesas", como o apresentado na Figura 6. São constituídos por uma cuba circular ou oval e um moinho de facas. A polpa é colocada na cuba com água e fica circulando devido ao movimento do moinho. Quando a pasta passa pelo moinho, as fibras são desagregadas, desfibriladas e cortadas.¹¹ Já nos refinadores contínuos, largamente usados pela indústria, uma suspensão aquosa da polpa é bombeada em um equipamento formado por dois cones concêntricos ou dois discos paralelos. Tanto os cones quanto os discos possuem pequenas facas na sua superfície, promovendo a desagregação, o desfibramento e o corte das fibras de celulose com elevada eficiência e curto tempo.

Figura 6. Refinador tipo Holandesa: (a) fibras não refinadas sendo colocadas em uma Holandesa; (b) detalhe do moinho no interior da cuba da Holandesa; e (c) pasta refinada com as fibras desagregadas. Laboratório de Materiais Expressivos – Universidade de Brasília. Fotos: Thérèse Hofmann Gatti

2.5. Secagem e papel acabado

Como todo o processamento de obtenção da polpa de celulose, desde o descascamento até a refinação ocorre em presença de água, esta precisa ser removida da polpa para finalmente ser obtido o papel. A polpa celulósica pode ser produzida para utilização direta, para venda ao mercado interno ou para exportação. Nesse caso, a polpa precisa passar por estágios de formação e prensagem e ser condicionada como mantas com teor seco de cerca de 50 %. Para reduzir o custo de transporte e armazenamento, a polpa deve passar por estágios de secagem por ar aquecido ou por vapor de média pressão, seguido do acondicionamento em

fardos para, finalmente ser encaminhada para a produção do papel acabado.

Já a formação de papel é feita a partir de uma suspensão da polpa em água, podendo ser adicionados nessa suspensão aditivos para dar uma maior resistência ao papel, alterar a textura e o brilho, entre outros. Esta suspensão é peneirada, as fibras ficam retidas e formam um filme de celulose, o qual após a secagem se torna a folha de papel. Na indústria, esse processo é feito em regime contínuo, usando esteiras e rolos compressores que produzem o papel na forma de grandes bobinas.^{3,6} Essas bobinas são posteriormente cortadas nos tamanhos desejados, conforme pode ser observado na Figura 7.

Figura 7. Formação de bobinas de papel acabado: (a) formação de suspensão de celulose em água a partir de blocos de celulose secos; (b) filme de celulose sendo formado em esteiras; (c) e (d) o filme formado é seco em sistemas de rolos, produzindo bobinas de papel; (e) e (f) as bobinas são cortadas com a largura desejada. Vinhedos Indústria e Comércio de Papéis - Flores da Cunha/RS. Fotos: Paulo A. Z. Suarez

3. Papel Artesanal

Desde o início da produção de papel pelos chineses até o século XII, quando se iniciou a instalação de moinhos de papel, o papel era feito de forma artesanal, ou seja, pela polpação em escala reduzida, formação de folhas com telas manuais e secagem ao ar livre ou sob o sol.⁵ Com a instalação de indústrias de celulose e papel por volta do século XIX, aliado ao crescimento da demanda por esse produto, muitos países deixaram a produção artesanal pela produção em escala industrial. Assim, a produção de papel artesanal ficou restrita ao uso artístico como suporte de obras em técnicas de gravura, desenho, aquarela e como confecção do próprio papel em diferentes cores, texturas, formatos, gramaturas, marcas d'água e filigranas.⁵ Além do uso artístico, a produção artesanal tem sido utilizada para o processo de reciclagem de papel e para o desenvolvimento de matérias-primas alternativas, como o agave, bambu, bananeira, cana-de-açúcar, paineira, taboa, dentre outros.⁵ Os estudos dessas matérias-primas têm sido desenvolvidos de forma interdisciplinar por pesquisadores das áreas de artes, química e biologia, como o

estudo do uso de fibras vegetais para a produção de papel artesanal. A seguir, serão descritos dois processos de produção artesanal de papel, um utilizando fibras de papiro e o processo tradicional dos egípcios e o outro a partir do fruto da paineira.

3.1. Procedimento para produção de folha de papel a partir de fibras de Papiro(*Cyperuspapyrus*)

Planta da família das *Cyperaceas*, o papiro (*Cyperus papyrus*) possui caules triangulares, altos e flexíveis (Figura 8a), com os quais se podem produzir papel. Para tal, utiliza-se a parte interna, branca e com aspecto esponjoso do caule. O processo de produção do papiro foi desenvolvido por volta de 3.700 a.C. e permanece até a atualidade. O processo se inicia com o corte do caule na medida do tamanho do papel final (Figura 8b), visto que cada fração desse caule corresponde a uma parte da trama do papel. Neste trabalho, foram cortados pedaços de 10 cm, mas esse tamanho pode variar dependendo das dimensões desejadas na folha de papiro. Como a casca do caule não tem resistência, essa foi removida, e o descasque foi feito com o auxílio de uma régua (Figura 8c e 8d)

Figura 8. Preparo do caule do papiro: (a) *Cyperuspapyrus* (coletado em residência localizada no setor de chácaras Altiplano Leste em Brasília, DF); (b) corte dos caules no tamanho do papel desejado (10 cm); (c) e (d) descasque. Laboratório de Materiais e Combustíveis – Universidade de Brasília. Fotos: Paulo A. Z. Suarez e Maria Teixeira

Após o descascamento e para remover o excesso de água, os caules foram batidos com um martelo de madeira e, em seguida, prensados com rolo de madeira (Figura 9a). Após o processo de prensagem os caules sofrem uma visível alteração de coloração (Figura 9b). Imediatamente após a prensagem, os caules foram imersos em um recipiente contendo água potável (Figura 9c), permanecendo nesse recipiente por um período de 7 dias, com troca diária da água

para a remoção do açúcar. Note que para a obtenção de folhas de papiro branqueadas, nessa etapa pode ser adicionada solução de hipoclorito de sódio, podendo ser usada água sanitária comercial, ou peróxido de hidrogênio, podendo ser usada água oxigenada, para branquear o caule. Como neste trabalho não foram adicionados esses agentes branqueadores, a folha de papiro obtida no final do processo apresentou uma coloração marrom escura.

Figura 9. Tratamento para extração de açúcares e outros extratíveis do papiro: (a) prensagem com rolo de madeira de caule previamente descascado e batido com martelo; (b) caules prensados onde se observa alteração de coloração; (c) repouso dos caules prensados imersos em água. Laboratório de Materiais e Combustíveis – Universidade de Brasília. Fotos: Paulo A. Z. Suarez e Maria Teixeira

Decorrido o tempo, a água de cada caule foi removida manualmente (Figura 10a) para seguir à montagem do papel. O processo de montagem ocorreu sob uma manta de feltro, onde foi colocada uma fibra na vertical seguida por uma na horizontal (Figuras 10b e 10c), repetindo essa etapa até montar uma folha de papel (Figura 10d).

Após a montagem, as tramas foram cobertas com manta de feltro (Figura 11a) e levadas para a prensagem em prensa

mecânica manual por um período de 7 a 10 dias, trocando a manta de feltro diariamente para evitar o surgimento de fungos na folha de papel. Decorrido o tempo de prensagem, a manta contendo o papel foi levada à secagem em temperatura ambiente e à sombra (Figura 11b), após a qual, por não estar perfeitamente plana (Figura 11c) foi prensada por um período de 24 h, obtendo-se, assim, o papel final (Figura 11d).

Figura 10. Montagem da folha de papel de papiro: (a) remoção da água; (b) e (c) montagem da trama; e (d) trama pronta no tamanho desejado. Laboratório de Materiais e Combustíveis – Universidade de Brasília. Fotos: Paulo A. Z. Suarez e Maria Teixeira.

3.2. Procedimento para confecção de papel artesanal a partir de paina (*Ceiba speciosa*)

A *Ceiba speciosa*, conhecida popularmente como paineira ou barriguda, é uma árvore frondosa nativa do Brasil, que possui um fruto seco com fibras brancas e sedosas, similares ao algodão, chamadas de paina (Figura 12a). Para a confecção de papel artesanal nesse trabalho, foi usada somente a paina de frutos maduros. A paina foi submetida à polpação ou cozimento em meio alcalino para obtenção da polpa de celulose.

Para tal, foram adicionados em uma panela de inox, com capacidade de 20 L, 1 Kg de paina, 100 g de NaOH e aproximadamente 10 L de água. A mistura foi aquecida, deixando em ebulição por 3 h. Então, as fibras obtidas foram filtradas em peneira, lavadas com água e refinadas em Holandesa (Figura 6). Para branquear a polpa, foram colocados em uma cuba a polpa de celulose refinada e 7 L de uma solução aquosa de peróxido de hidrogênio 10%, deixando-se em repouso por 2 h a temperatura ambiente. Finalmente, a polpa foi lavada para se obter as fibras de celulose refinadas e branqueadas.

Figura 11. Formação de folhas de papiro: (a) trama coberta por manta de feltro para ser levado à prensagem; (b) Secagem do papiro após prensagem; (c) folhas de papiro após secagem; e (d) papiro seco e prensado. Laboratório de Materiais e Combustíveis – Universidade de Brasília. Fotos: Paulo A. Z. Suarez e Maria Teixeira

Parte das fibras obtidas foi enviada ao Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) para análise da qualidade. Um dos parâmetros para definir para qual tipo de papel uma polpa de celulose pode ser usada é o comprimento das fibras. Ao analisar o comprimento das fibras de paina

em microscópio Olympus FH, com lente objetiva 8X, foi verificado que o comprimento médio é de 1,18 cm, o que indica que se trata de uma fibra longa, podendo proporcionar um papel de maior resistência mecânica. Para avaliar o seu potencial na fabricação de papel, a polpa foi refinada em moinho Jokro

e a extensão da refinação foi feita pela determinação do grau Schopper-Riegled (°SR) e foram feitas folhas em formador TAPPI (Technical Association of Pulp and Paper Industry) para realizar os ensaios de

gramatura, resistência à drenagem, espessura, índice de tração, alongamento, índice de arrebatamento, índice de rasgo, porosidade e opacidade. Os resultados desses ensaios são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados obtidos da pasta celulósica de paina

	Paina 20°SR	Paina 25°SR	Paina 38°SR
Tempo de refinação, Refinador Jokro, em min	10	20	50
Resistência a drenagem, °SR	20	25	38
Gramatura, em g/m ²	76,4	76,0	75,6
Espessura, em mm	0,142 (0,006)	0,135 (0,006)	0,096 (0,003)
Índice de tração, em N.m/g	46,7 (0,3)	49,2 (0,3)	56,9 (0,5)
Índice de rasgo, em mN.m ² /g	4,31(0,20)	3,47 (0,10)	3,07 (0,2)
Porosidade,			
➤ em s para 100 mL	54,7 (2,4)	75,0 (10,8)	510 (49)
➤ em µm/Pa.s	2,33 (0,10)	1,72 (0,27)	0,25 (0,03)

Nota: Os números entre parênteses indicam o desvio padrão das determinações.

Conforme apresentado na Tabela 1, o grau ou nível de refino da polpa celulósica de paina foi de 20 °SR, 25 °SR e 38 °SR. Esse parâmetro indica o grau de entrelaçamento das fibras, o qual normalmente tem sido utilizado para o refino da polpa celulósica de eucalipto.¹² Para cada refino, está relacionado um tempo de refinação e consequente maior gasto de energia, elevando o valor do produto final. Assim, quanto maior o grau de refino maior o tempo de refinação no moinho Jokro. Consequentemente, maior será o entrelaçamento das fibras de celulose na formação do papel e melhor será a drenagem das fibras. A gramatura e a espessura influenciam na densidade aparente e no volume específico aparente da folha final, de forma que quanto maior o grau de refino da paina menor será esse volume em gramatura e em espessura. Assim, papéis mais densos têm maior resistência à tração, conforme verificado na Tabela 1 e apresentado por Mokfienskiet *al.* em seus

estudos de densidade da madeira de eucalipto.¹³ O índice de rasgo depende da ligação entre as fibras e também tem correlação com o comprimento da fibra e da espessura da parede, o que influenciou no resultado desse índice que foi maior para a polpa menos refinada, haja vista que a fibra celulósica da paina foi caracterizada como fibra longa. Essa característica é comum em polpas oriundas de madeiras mais leves, o que sugere sua indicação para papéis de escrita.¹³ A porosidade representa o valor da resistência de determinada folha de papel sobre a passagem de ar, o que torna de elevado interesse para papéis de revestimento. Assim, é esperado que com o refino ocorra o aumento dessa resistência, visto que há uma maior ligação entre as fibrilas e poucos espaços vazios na estrutura da folha. Assim, conforme as características apresentadas na Tabela 1, a pasta celulósica de paina com grau de refino de 20 °SR por apresentar fibras longas e maior índice de

rasgo permite sua utilização na produção de papel para impressão.

Para serem produzidas folhas de papel para impressão, foi feita uma suspensão misturando-se em uma cuba a água e a polpa refinada e branqueada. Para formar as folhas, a suspensão foi filtrada em marcos de madeira (Figura 12 b). O filtrado foi então colocado em um feltro (Figura 12c) e,

juntamente com vários outros obtidos pelo mesmo procedimento, foi prensado para retirar o excesso de água e secagem ao sol (Figura 12d). Após secas, as folhas de papel obtidas foram cortadas em tamanho A4 e utilizadas em impressora tipo jato de tinta para imprimir um relatório de atividades de iniciação científica (Figura 12e).

Figura 12. Confeção de folhas de papel a partir de paina: (a) paineira (*Ceiba speciosa*, indivíduos arbóreos na Asa Sul de Brasília, DF); (b) formação de folha a partir de suspensão em água da polpa de celulose refinada e branqueada (Laboratório de Materiais Expressivos da UnB); (c) folha ainda molhada colocada em feltro; (d) secagem das folhas de papel ao sol, dentro de um feltro após prensagem; (e) folha de papel cortada em tamanho A4 e usada em impressora jato de tinta. Fotos: Paulo A. Z. Suarez

4. Conclusões

Desde o início do desenvolvimento da humanidade, o ser humano tem a necessidade de se expressar, sendo o papel um importante suporte para expressão artística e escrita. Quimicamente, o papel é composto de celulose, que pode ser obtida a partir de diferentes matérias-primas vegetais, bem como processos tecnológicos.

Foram avaliadas duas matérias-primas para a obtenção de papéis: o caule do papiro

e a paina. Foram utilizados processos diferentes, um apenas mecânico e o outro químico, tendo ambos se mostrado adequados para a obtenção de folhas de papel. Em especial, a polpação alcalina da paina permitiu obter artesanalmente folhas adequadas para a impressão em impressora jato de tinta.

Agradecimentos

Os autores agradecem às diferentes agências que financiam as pesquisas em Celulose realizadas no LMC e LEME/UnB (CNPq, FINEP, CAPES, FAPDF), e ao INCT-CATÁLISE. Os autores agradecem também ao CNPq e CAPES pelas bolsas de pesquisa concedidas ao longo dos últimos 15 anos.

Referências Bibliográficas

¹ Hughes, V. Were the first artists mostly women. *National Geographic* 2013, <http://news.nationalgeographic.com/news/2013/10/131008-women-handprints-oldest-neolithic-cave-art/#close-modal>. Acesso em: 28 abr. 2017. [Link]

² Proença, G.; *Descobrimos a História da Arte*, 1a. ed, Ática: São Paulo, 2005.

³ Shreve, R. N.; Brink Jr., J. A. *Indústrias de Processos Químicos*, 4a. ed Guanabara Dois: Rio de Janeiro, 1980.

⁴ Campanatto, G. E.; *A história da indústria de celulose e papel no Brasil* Tempo & Memória: São Paulo, 2004.

⁵ Hofmann-Gatti, T.; *A história do papel artesanal no Brasil* ABTCP: São Paulo, 2007.

⁶ D'Almeida, M. L. O.; Koga, M. E. T.; Ferreira, D. C.; Pigozzo, R. J. B.; Toucini, R.; Reis, H. M. dos; Viana, E. F. *Celulose SENAI*: São Paulo, 2013.

⁷ Santos, C. P.; Nunes, I.; Eduardo, J.; Moreira, B.; Brasileiro, B. Como se fabrica papel. *Química Nova na Escola* **2001**, 14, 1. [Link]

⁸ Piló-Veloso, D.; do Nascimento, E. A.; Morais, S. A. L. De Isolamento e análise estrutural de ligninas. *Química Nova* **1993**, 16, 435. [Link]

⁹ Piotto, Z. C. Eco-eficiência na Indústria de Celulose e Papel - Estudo de Caso, Universidade de São Paulo, 2003.

¹⁰ Ito, M. H. Em *Congresso Anual da ABCP, 10 (Congresso Brasileiro de Celulose e Papel de Eucalipto, 1)* ABTCP: São Paulo, 1977. [Link]

¹¹ Variáveis de Refino. *Wiki Celulose e Papel*[s.d.], http://pt-br.celuloseepapel.wikia.com/wiki/Variáveis_de_Refino. Acesso em: 28 abr. 2017. [Link]

¹² Campos, E. da S.; Martins, M. A. L.; Foekel, C. E. B.; Frizzo, S. M. B. Seleção de critérios para a especificação de pastas celulósicas branqueadas de eucaliptos na fabricação de papéis para impressão "offset". *Ciência Florestal* **2000**, 10, 57. [Link]

¹³ Mokfienski, A.; Gomide, J. L.; Colodette, J. L.; Oliveira, R. C. Em *Colóquio Internacional sobre Celulose Kraft de Eucalipto* 2003. [Link]