



Eucalyptus Online Book & Newsletter



AS FIBRAS DOS EUCALIPTOS E AS QUALIDADES REQUERIDAS NA CELULOSE KRAFT PARA A FABRICAÇÃO DE PAPEL

Celso Foelkel

www.celso-foelkel.com.br
www.eucalyptus.com.br
www.abtcp.org.br

Empresas patrocinadoras:

BOTNIA

Fevereiro/Março 2007

AS FIBRAS DOS EUCALIPTOS E AS QUALIDADES REQUERIDAS NA CELULOSE KRAFT PARA A FABRICAÇÃO DE PAPEL

Celso Foelkel

CONTEÚDO

- INTRODUÇÃO
- NECESSIDADES BÁSICAS PARA A FABRICAÇÃO DO PAPEL
- REQUISITOS DE QUALIDADE DAS FIBRAS DOS EUCALIPTOS PARA A FABRICAÇÃO DO PAPEL
- AS PROPRIEDADES MAIS IMPORTANTES DAS FIBRAS DOS EUCALIPTOS
 - População de fibras ou número de fibras por grama de celulose (associada à “coarseness” das fibras)
 - Resistência da fibra individual
 - Colapsabilidade das fibras
 - Habilidade de ligação entre fibras e propriedades da rede estrutural do papel
 - Flexibilidade da fibra úmida
 - Inchamento e hidratação das fibras
 - Teor de hemiceluloses da polpa
 - Deformações das fibras e integridade e danos na parede celular
 - Teor de finos da polpa
- OS PRODUTOS PAPELEIROS MAIS USUAIS FABRICADOS COM FIBRAS DE EUCALIPTOS
 - Papéis tipo “tissue” e papéis de alto volume específico aparente
 - Papéis de impressão e de escrita
 - Papéis especiais
- CONCLUSÕES
- REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

AS FIBRAS DOS EUCALIPTOS E AS QUALIDADES REQUERIDAS NA CELULOSE KRAFT PARA A FABRICAÇÃO DE PAPEL

Celso Foelkel

www.celso-foelkel.com.br

www.eucalyptus.com.br

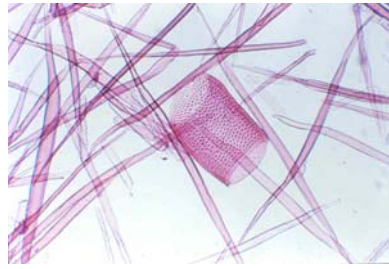
www.abtcp.org.br

INTRODUÇÃO

As polpas kraft branqueadas dos eucaliptos são ricas em fibras, mas as fibras não são os únicos elementos anatômicos que elas possuem. Fibras, fragmentos de fibras, células de parênquima e elementos de vaso estão combinados em uma rica mistura. Em uma baixíssima consistência de celulose, a figura abaixo oferece uma boa idéia em relação ao tipo de composição anatômica sobre o que estamos falando. Essa mescla complexa de elementos anatômicos é o que se denomina de polpa ou celulose de eucalipto. Por outro lado, existe uma tendência entre os papeleiros de considerar a polpa de mercado de eucalipto como sendo um produto do tipo "commodity", ou seja, um produto que, independentemente da origem, dele seria exigida uma performance similar. Isso é um enorme engano tecnológico. O propósito desse capítulo do nosso **Eucalyptus Online Book** é de exatamente mostrar as diferenças que podemos encontrar entre os diferentes tipos de polpas de eucaliptos, com as propriedades mais importantes que as distinguem. As polpas kraft branqueadas de eucaliptos podem ter propriedades papeleiras bastante distintas, dependendo do tipo de madeira e das condições aplicadas na sua fabricação (produção de cavacos, digestão, lavagem, depuração, branqueamento, secagem, etc.).



Componentes anatômicos da polpa kraft de eucalipto
Cortesia da foto: Techpap , CTP Grenoble & Regmed



Fibras e elementos de vasos de polpa de eucalipto

O comportamento papelero de uma polpa depende em muito das propriedades anatômicas e químicas dessa mistura, mas também dos diferentes processos de produção de papel e de celulose empregados. A morfologia das fibras e seus constituintes químicos são muito importantes para se permitir previsões acerca do comportamento da polpa em condições operacionais de processo. As fibras se constituem no elemento anatômico mais abundante. Dentre suas dimensões fundamentais, a largura e o comprimento das mesmas são relativamente similares para as polpas de eucaliptos. A espessura da parede porém varia bastante e é ela uma das mais importantes de suas propriedades. Conforme variam as dimensões das fibras e a sua morfologia, existem importantes características nos processos de fabricação do papel que também são afetadas. A população fibrosa e a "coarseness" das fibras podem, até certo ponto, refletir bastante nesse comportamento potencial das polpas e na sua performance em termos papeleros. Existem entretanto, outros aspectos a serem considerados. Os finos e as deformações das fibras são outros pontos relevantes para o desempenho de uma polpa de eucalipto. Os finos são muito importantes para a ligação entre fibras. Uma polpa sem finos tem pobre habilidade para ligações e baixas resistências físico-mecânicas. Entretanto, um excesso de finos traz problemas na drenagem na seção úmida da máquina de papel, no desaguamento na prensagem a úmido, e colabora para uma alta densidade na folha de papel final. As deformações nas fibras não são naturais: os processos de fabricação de celulose e papel é que causam essas deformações na sua forma. As deformações das fibras reduzem a resistência das fibras individuais e por extensão a resistência da polpa e do papel. Por outro lado, elas são importantes para desenvolverem a volume específico aparente, a porosidade e a capacidade de absorção do papel. A integridade da parede celular e a organização ou desorganização das suas microfibrilas consistem em outro aspecto raramente considerado. O fabricante de celulose está acostumado a mudar suas condições de processo de digestão e branqueamento na busca de otimizações. Ele geralmente não tem nenhuma indicação acerca de efeitos desastrosos que ele possa estar trazendo à parede celular das fibras, exceto as medições de viscosidade da polpa. Viscosidade é uma propriedade muito simples para realmente

mostrar os danos físicos e químicos que a parede celular da fibra possa estar sofrendo. As características químicas das polpas são também muito importantes. O teor de hemiceluloses é uma dessas características que tem maiores efeitos. Além do teor de hemiceluloses, finos, população das fibras, "coarseness" e capacidade de ligação, existem outras importantes propriedades tais como: IRA – índice de retenção de água, colapsabilidade das fibras, flexibilidade da fibra úmida e resistência da folha úmida. A habilidade da fibra em absorver e em reter água vem-se mostrando uma propriedade fundamental na avaliação de polpas. As propriedades associadas ao fenômeno da histerese são hoje muito críticas nas avaliações de polpas pelo fato de interferirem na performance da máquina de papel (drenagem e desagramento) e na qualidade do papel final produzido. A qualidade da celulose é, por essa razão, definida por um grupo de atributos que pode variar de acordo com a qualidade da madeira, com o processo de deslignificação e produção de celulose e com as operações particulares do processo de produção de papel. A qualidade da celulose é por essa razão muito dependente da cadeia produtiva que os produtores estão gerenciando. Por essa razão, qualidade de polpa é construída ao longo de toda essa cadeia de valor.

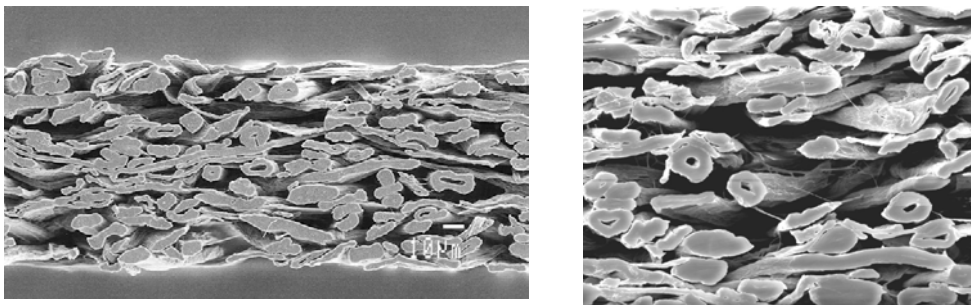


Fardos de celulose de eucalipto

As polpas de eucaliptos são recomendadas para a fabricação de um grande número de papéis devido às excelentes qualidades que elas podem conferir aos mesmos, como por exemplo: volume específico aparente, opacidade, formação, maciez, porosidade, lisura, absorção, estabilidade dimensional, etc. Hoje, máquinas papeleiras mais rápidas e performantes estão sendo construídas. Em todas elas, o importante é que essas propriedades fantásticas das fibras dos eucaliptos não sejam desperdiçadas, pelo contrário, é importante que elas cooperem para uma melhor operação dessas máquinas.

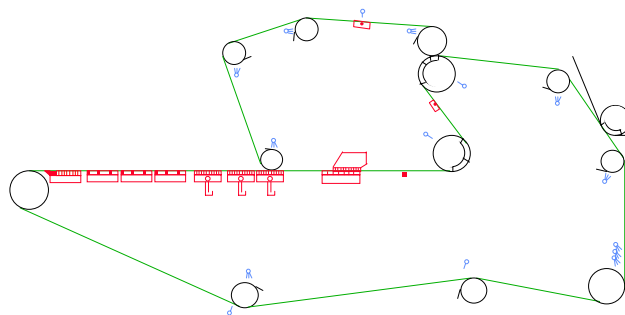
Todas as considerações enunciadas nesse capítulo acerca de qualidade da celulose para fabricação de papel são válidas apenas para celulose kraft branqueada de eucalipto. Não estamos aqui fazendo comparações entre diferentes tipos de fibras ou de diferentes processos de fabricação de celulose. Quando são oferecidas algumas comparações, elas se referem a um tipo de celulose de eucalipto em relação a outro tipo

de polpa de eucalipto. Quando sugerimos que se utilizem fibras de mais alta "coarseness" para uma finalidade específica (papéis "tissue" ou papéis filtro) estamos nos referindo a polpas de eucalipto de maiores valores de "coarseness" (cerca de 9 a 11 mg/100m). Polpas de eucalipto de baixos valores de "coarseness" estão na faixa de 4.5 a 6 mg/100m. O mesmo é válido para outras propriedades. Tem que ficar claro que outros tipos de processos de produção de celulose de eucalipto, como os processos de alto rendimento, produzem polpas de eucalipto com distintas propriedades e destinações na fabricação de papel. Por essa razão, outros tipos de celulose e de matérias primas fibrosas serão temas de outros capítulos em nosso **Eucalyptus Online Book**.



Vistas do papel em sua direção Z mostrando os componentes e a consolidação estrutural na folha

NECESSIDADES BÁSICAS PARA A FABRICAÇÃO DO PAPEL



Independentemente do tipo de papel que esteja sendo fabricado, o setor papelero possui como premissas básicas de necessidades: a alta produtividade, a alta eficiência operacional (poucas quebras, poucos problemas, pouco refugo, poucas paradas, poucos pesadelos), o baixo custo de produção e a qualidade uniforme no processo e nos produtos. É importante reforçar que todos os papeleros possuem essas necessidades

fisiológicas fundamentais, não importando qual tipo de máquina ou de papel eles estejam utilizando ou fabricando. Para alcançar essas metas, a matéria prima deve ser a mais uniforme possível, com características em uma faixa estreita de variação, a fim de não causar fortes impactos e indesejáveis surpresas no processo de produção do papel. Para controlar e domar essa variabilidade, os engenheiros papeleiros estão acostumados a controlar algumas propriedades de qualidade das polpas que utilizam. Entretanto, muitas vezes, o portfólio de propriedades que avaliam não é suficiente para lhes dar uma idéia prévia do comportamento das polpas, nem para seu processo, nem para a qualidade do produto final que vão fabricar com ela.



Quando o papeleiro pede por uma polpa uniforme, ele não está simplesmente se referindo a alvura, reversão de alvura, viscosidade e limpeza. Ele está também se referindo a uma série de propriedades que estão diretamente relacionadas à performance de seu processo de conversão e produtos fabricados. Seu objetivo é ter uma operação com mínima variabilidade, sem surpresas desagradáveis. O papel final deve ter qualidade uniforme e dentro dos limites de especificação, bem como as perdas ao longo do processo devem ser as mínimas possíveis e aceitáveis. Quando o papeleiro pede por uma padronização na alimentação de polpa, ele está primeiramente tentando garantir uma matéria prima fibrosa que produza bem em sua máquina (eficiência e maquinabilidade). O segundo importante objetivo é garantir no papel fabricado as especificações de qualidade que são clientes estão demandando.



Visto que as performances dos materiais fibrosos a serem utilizados são difíceis de se prever, o gerente da máquina de papel pede ajuda ao chefe do laboratório para realizar uma série de propriedades que eu chamo de **“gestão das especificações periféricas da qualidade”**. Ele necessita de um número de dados de análises que possam ajudá-lo a justificar quando a performance da máquina não está boa ou as especificações dos produtos não estejam sendo atingidas.

Quando uma alimentação de polpa está uniforme em sua qualidade, muita coisa se consegue uniformizar na fabricação do papel: refinação, adições de produtos químicos, drenagem, consumo de vapor e de energia elétrica, consolidação da folha, propriedades físico-mecânicas e óticas do papel, etc. Tudo isso não se altera de forma brusca e o papeleiro fica feliz e pode descansar nas horas a que tem direito. Os indicadores de processo e as propriedades do papel são mais facilmente alcançados. Numa tentativa de ajudar nisso, o laboratório avalia propriedades periféricas básicas tais como: alvura, sua reversão, contaminantes na polpa, sua condutividade, teor de “pitch”, além de executar alguns refinamentos da massa em refinador de laboratório. O primeiro e mais importante objetivo é não se ter variações significativas nessas propriedades da polpa. Alvura, reversão de alvura, limpeza, teor de cinzas e de minerais, viscosidade e performance no refino são fatores-chaves nessas avaliações das propriedades periféricas de especificação das polpas. Uma propriedade complementar de qualidade periférica é o teor de umidade. O papeleiro não quer pagar mais pela polpa que compra, nada além do que seja justo e correto.

O segundo e importante tipo de gestão que o papeleiro procura praticar é a **“gestão da variabilidade da polpa”**. Através dela, ele tenta estreitar os limites de variação de seu componente fibroso e de suas conseqüências. A variabilidade é também medida indiretamente, observando o comportamento da máquina de papel e as performances papeleiras da polpa. Quando a máquina de papel funciona bem, sem quebras, nas velocidades planejadas, bem como as especificações de qualidade do papel são atingidas, o processo de fabricação se diz controlado e a variabilidade está domada. Quando problemas começam a acontecer, a primeira vítima de acusações é invariavelmente a qualidade da celulose.

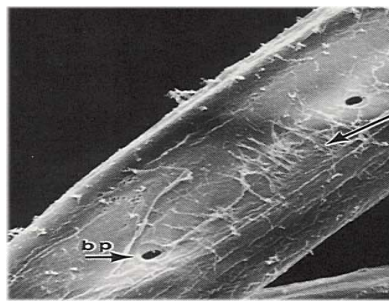
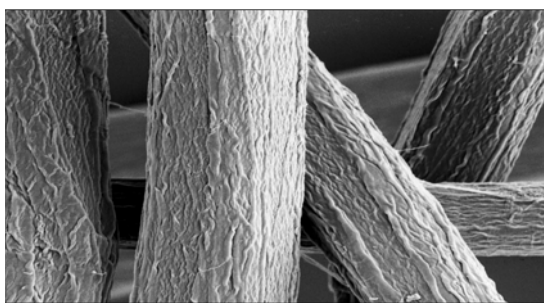
A gestão das qualidades periféricas da polpa e a gestão da variabilidade da celulose são realmente requisitos fisiológicos básicos de qualquer papeleiro ou de qualquer fábrica de papel. O gerente da fábrica de papel precisa dessas duas necessidades preenchidas para que ele se motive ao terceiro tipo de gestão que ele pode realizar: **“gestão da**

diferenciação de produtos” ou gestão da fabricação do papel de acordo com as exigências especiais do usuário (“tailor making”). Esse tipo de gestão exige grandes mudanças nos papeleiros e em suas fábricas e oferece importantes desafios ao pessoal envolvido. As mudanças podem acontecer na qualidade das polpas (por exemplo: fibras longas e fibras curtas em mistura), nos processos de polpação (por exemplo: polpas ECF ou ECF-light refletidas em teores diferenciados de AOX ou OX nas polpas e nos papéis), ou mesmo em outras diferenciações mais recentes na madeira (madeira certificada ou não certificada). A busca de diferenciação em produtos em fábricas de papel é mais facilmente obtida quando a fábrica possui mais de uma máquina de papel. Isso porque a fábrica pode produzir produtos diferenciados em cada máquina, e se valer da intercambialidade entre elas. Além disso, ela fica isenta do problema desagradável das transições entre produtos na mesma máquina. De qualquer forma, a gestão por produtos diferenciados só será vencedora se a fábrica estiver com os outros dois tipos de gestão bem administrados. É muito fácil ser dito e escrito, mas muito difícil de ser implementado. Por essa razão, toda vez que uma fábrica busca diferenciação em produtos, ou uma nova linha de produtos, podem ocorrer conflitos entre áreas, como as de produção, comercial e de desenvolvimento de produtos. Cada uma dessas áreas tem seus próprios objetivos e sonhos acerca da uniformidade, das características de diferenciação e da singeleza do novo produto. É muito comum que uma área não entenda bem as aspirações da outra. Por isso, as fábricas de celulose e de papel, em sua maioria, preferem trabalhar com produtos tipo “commodities”, um produto único produzido com alta eficiência e produtividade, baixo custo e com o mínimo de paradas e dores de cabeça. Tendo conhecimento disso, como poderemos provocar em uma fábrica a cultura por diferenciação em seu portfólio de produtos? O que é importante ser gerenciado? Como fazer isso? Quais reais propriedades das polpas deverão ser controladas para mais facilmente se conseguir eficiência e qualidade para cada tipo de produto? Com o que deverá se preocupar o gerente industrial da fábrica? E o diretor comercial? Com quais propriedades da celulose e do papel estariam o chefe do laboratório e o pessoal de desenvolvimento de produtos mais ocupados em analisar? O que passa a ser importante além das propriedades periféricas?

Em fábricas integradas, a diferenciação de produtos pode ser construída na floresta, no processo de produção de celulose e na máquina de papel. Na floresta implicaria em segregar diferentes madeiras (por exemplo: densidade básica alta ou baixa) para cozinhá-las separadamente. Na fábrica de celulose, a diferenciação poderia acontecer através das oportunidades de processo que a fábrica possa eventualmente ter (diferentes linhas de fibras, onde se poderia cozinhar ou branquear ou

secar de formas diferentes). Finalmente, na fábrica de papel, a diferenciação pode ser conseguida pelo uso de diferentes polpas em misturas, algumas produzidas na fábrica de celulose e outras comprados fora. Em fábricas integradas, é muito comum a necessidade de se comprar alguma celulose seca de mercado, para facilitar a drenagem na seção úmida da máquina de papel. Polpas secas possuem muito mais fácil drenagem que polpas nunca secas, porque elas possuem valores de IRA – índice de retenção de água muito mais baixos. Isso oferece boas oportunidades de misturas para também melhorar a qualidade e as diferenciações nos produtos finais papeleiros.

Há casos em que a empresa tem dificuldades para gerenciar diferentes suprimentos de madeira vindos de regiões muitas vezes distantes. Uma solução que tem sido buscada é se orientar a produção de madeira para um suprimento uniforme, mas flexível, e tentar diferenciar os tipos de celulose valendo-se da fábrica de celulose e de seus processos. É conhecido o caso da “Plataforma de Fibras”, que vem sendo adotada pela Aracruz Celulose, maior produtora mundial de celulose kraft branqueada de eucalipto. A Aracruz possui um excelente programa de melhoramento genético da qualidade de suas madeiras. Entretanto, a empresa tem crescido bastante rápido em sua capacidade e nas demandas de madeira. No início de suas operações, a empresa se supria de madeiras vindas de distâncias administráveis (50 a 70 km de raio). Com o aumento das necessidades de madeira, essas passaram a vir de áreas bem mais distantes e com climas, solos e topografias diferentes. Considerando que existe uma forte relação genótipos e ambientes no desenvolvimento das árvores, um material genético que se mostra bom para uma região, necessariamente não é tão produtivo ou não dá a qualidade de madeira requerida em outra região. A consequência: a Aracruz desenvolveu o que ela denomina de “plataforma de fibras de alta qualidade”. O objetivo é selecionar e desenvolver árvores que tenham uma flexibilidade em suas madeiras e características de fibras e concentrações desejáveis em seus componentes químicos (lignina, hemiceluloses). Essas árvores devem ser capazes de prover uma combinação ideal de propriedades de celulose e de papel (além do rendimento em celulose), para se diferenciarem os produtos celulósicos nas diferentes linhas de fibra que a empresa possui. A madeira é melhorada para dela se ter possibilidades múltiplas e flexíveis em seus atributos de polpação. Essa uniformidade e flexibilidade é conseguida através da genética, espécies de eucalipto, idade de corte, práticas silviculturais e “site” ou ambiente onde a floresta é plantada. Nas linhas de fibra, a diferenciação é definida de acordo com as demandas estabelecidas pelos diversos segmentos de clientes e de mercado.



Superfícies de fibras de celulosas kraft

É relativamente difícil se eleger qual ou quais as mais importantes características de qualidade de uma celulose para uma determinada fábrica ou máquina de papel e seu(s) produto(s). A razão é simples: não existe uma única propriedade das celulosas que através dela se diferenciem os seus comportamentos papeleiros. Ainda mais: dependendo do tipo de gargalo que uma fábrica de papel possua, as especificações de qualidade da polpa são definidas de modo a garantir a melhor performance dessa fábrica com seus gargalos de produção. E quem não possui gargalos de produção em nosso mundo papeleiro? Os gargalos mais comuns em fábricas de papel são os seguintes: capacidade de refinação, drenagem e retenção na mesa plana, velocidade da máquina de papel, disponibilidade de vapor, consolidação da folha úmida, resistências a úmido ou a seco, uniformidade do produto final. Como conclusão disso, pode-se afirmar que, até certos limites, o tipo de gargalo fabril que o papeleiro possui ajudará a ele a definir de uma forma ou de outra as especificações de sua celulose que será consumida para fabricar o seu papel. Esse é o caso típico de fábricas existentes e em operação. Para fábricas novas, o projeto das mesmas tenta reduzir as possibilidades de gargalos. Entretanto, tão logo a fábrica comece a operar, ela tende a crescer de forma não muito ordenada e os gargalos logo aparecem. Com isso, mudam-se as exigências de qualidade das polpas e do suprimento fibroso, algo muito natural e muitas vezes não entendido. Por essa razão, os gargalos acabam também trazendo conflitos domésticos dentro das fábricas, quer sejam elas de papel ou de celulose.

REQUISITOS DE QUALIDADE DAS FIBRAS DOS EUCALIPTOS PARA A FABRICAÇÃO DO PAPEL

As fábricas de papel possuem metas para produtividade, qualidade, custos e eficiência. As celuloses de eucalipto são matérias primas fibrosas para diversos e inúmeros tipos de papéis. Para cada tipo de papel e para cada desenho de fábrica e de suas máquinas, diferentes podem ser as exigências em qualidade orientadas à celulose. Isso significa que não existe uma polpa de eucalipto universal, uma polpa capaz de performar bem em qualquer máquina, com qualquer papel e em qualquer lugar do mundo.

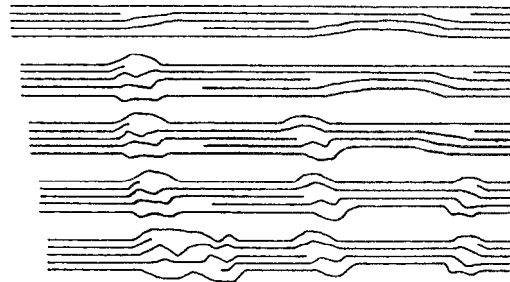


Mágica e maravilhosa celulose de fibra curta de eucalipto

Produtividade significa velocidade rápida na máquina de papel, rápida drenagem na mesa plana, alta consistência após a prensagem a úmido, excelente consolidação da folha de papel e mínimo número de quebras da folha nas operações. Qualidade implica em máximo atendimento nas especificações e mínima geração de refugos e de aparas internas por desclassificações e quebras. Alta eficiência nas operações é o sonho de todo fabricante de papel. Ele quer sua máquina funcionando na máxima velocidade possível, sendo isso de forma suave, sem problemas e produzindo qualidade. Com isso, os custos operacionais se reduzem e a felicidade habita na fábrica de papel. Não há dúvidas que uma boa qualidade de celulose está relacionada à operação da máquina de papel e à felicidade do papeleiro: isso é válido tanto para papéis do tipo “commodity” (higiênicos, impressão, etc.), como papéis especiais (filtros, papel cigarro, etc.).

Algumas das propriedades da celulose estão diretamente relacionadas a essas performances. Por essa razão, o papeleiro deve manter sua atenção sobre elas. Algumas dessas propriedades são

resultado da qualidade da madeira, outras dependem do processo de conversão da madeira a celulose (produção de cavacos, cozimento, branqueamento, bombeamento, secagem). Uma grande maioria dependem da combinação das qualidades da madeira e do processo de produção de celulose. Algumas propriedades que são devidas ao cozimento, branqueamento e conversão da madeira em celulose são: viscosidade e degradação das cadeias de carboidratos pela reação de despolimerização, deformações das fibras, integridade da parede celular, resistência da fibra individual, cargas superficiais nas fibras, íons adsorvidos nas fibras, etc. Outras propriedades são resultados das propriedades da madeira e do processo de produção de celulose, como o teor de hemiceluloses e a organização das microfibrilas na parede celular. O teor de hemiceluloses depende de quão alto era esse teor na madeira e da capacidade do processo de produção (cozimento e branqueamento) em extrai-las ou reprecipitá-las. A organização das microfibrilas na parede celular depende em quão agressivo foram os processos de cozimento sobre uma parede celular cuja disposição pode variar de um tipo para outro de madeira (madeira de reação, madeiras de muito rápido crescimento, etc.).



Organização das microfibrilas e dos poros nas fibras na parede celular após conversão a celulose

Existem outras propriedades que são 100% dependentes da madeira e nas quais o processo de produção de celulose tem baixa ação: comprimento e largura da fibra, espessura da parede celular, dimensões dos elementos de vaso, dentre outras.

São conhecidas muitas outras importantes propriedades que dependem tanto da qualidade da madeira como dos processos de produção de celulose. Muitas vezes, enormes exigências são colocadas sobre as madeiras, quando na verdade a madeira não é o principal fator a determiná-las. Por exemplo, temos importantes propriedades como: IRA – índice de retenção de água, WWS – “wet web strength” ou resistência da folha a úmido, ligação entre fibras e resistência da fibra individual. Outra importante propriedade não relacionada apenas à qualidade da madeira é o teor de finos da polpa. Os finos na madeira são basicamente

células de parênquima, mas na celulose incluem também fragmentos de fibras e de elementos de vasos que são gerados nas operações como picagem, bombeamento, mistura dinâmica, prensagem, desaguamento, etc.

De volta aos papeleiros:

Como regra geral, existem alguns requisitos fisiológicos que toda polpa deve cumprir para ser amada pelos papeleiros. Esses requisitos estão relacionados com as seguintes necessidades dos papeleiros:

Necessidade fisiológica número 01: Drenagem e retenção na mesa plana da seção úmida da máquina de papel

Esse comportamento é bastante afetado pela população fibrosa da polpa (número de fibras por grama de polpa), pelo grau de refino da polpa refinada ou não refinada ("freeness" ou grau Schopper Riegler), pelo IRA - índice de retenção de água (hidratação e inchamento da massa), pela flexibilidade da fibra úmida, pela habilidade da polpa em formar e consolidar uma folha e pelo teor de finos na massa. O desenho e tipo da tela e dos feltros, mais a limpeza do sistema máquina, são outros fatores importantíssimos para o atendimento dessa necessidade fisiológica dos papeleiros.

Necessidade fisiológica número 02: Resistência da folha de papel ao longo da máquina de papel, principalmente na saída da mesa plana e seção de prensas

Esse comportamento da folha depende muito da resistência da fibra individual, do comprimento das fibras, da ligação entre fibras, da flexibilidade da fibra úmida, dos contaminantes presentes na massa ("shives", palitos, pintas, "pitch", areia) e do potencial de consolidação da folha úmida. A resistência da fibra individual é por sua vez relacionada à espessura da parede celular, ângulo microfibrilar, deformações e micro-fraturas nas fibras, bem como com a espécie de *Eucalyptus* em uso como matéria prima florestal.

Necessidade fisiológica número 03: Atendimento das especificações de qualidade no papel conforme as demandas do mercado e dos clientes (ou impostas pelo laboratório de controle de qualidade!!)

Conforme os papéis sendo fabricados, as demandas de especificações para esse papel e para as matérias primas fibrosas podem

ser diferentes e às vezes significativamente distintas. Algumas vezes, essas diferenças variam até mesmo para um mesmo tipo de papel, mas sendo fabricado em máquinas diferentes na mesma fábrica. Cada processo individual possui suas especificidades que conduzem a diferentes necessidades nas polpas e nas condições operacionais.

Uma vez que essas demandas fisiológicas sejam bem atendidas, o papaleiro sente disposição e motivação para trabalhar por diferenciação em sua linha de produtos. A diferenciação implica em diferenciar produtos para suprir diferentes tipos de mercados ou clientes distintos. Uma das maneiras bem interessantes de se conseguir diferenciação de produtos é através do bom conhecimento das diferenças das polpas de eucaliptos, bem como a forma de se alcançar essas particularidades diferenciais. O melhoramento genético na qualidade da madeira dos eucaliptos pode ajudar bastante na seleção e desenvolvimento de materiais diferenciados para atender mercados papaleiros distintos. Isso é também referido como desenvolver madeiras para usos específicos e diferenciados. Algo que não depende só de genética, mas onde ela tem papel importante.

Já sabemos que genética, silvicultura e qualidade da madeira são importantes, mas não são os únicos fatores responsáveis pelos distintos comportamentos das polpas. A performance de uma celulose pode ter sua base na floresta, mas isso não é tudo. Já vimos também a importância das relações entre matéria prima e processos de fabricação de celulose e de papel. O que nós definitivamente precisamos entender é como interferir nesses processos, ter a liderança e o controle dessas mudanças. Quais propriedades e de que forma podemos alterar as mesmas e quais as conseqüências?

AS PROPRIEDADES MAIS IMPORTANTES DAS FIBRAS DOS

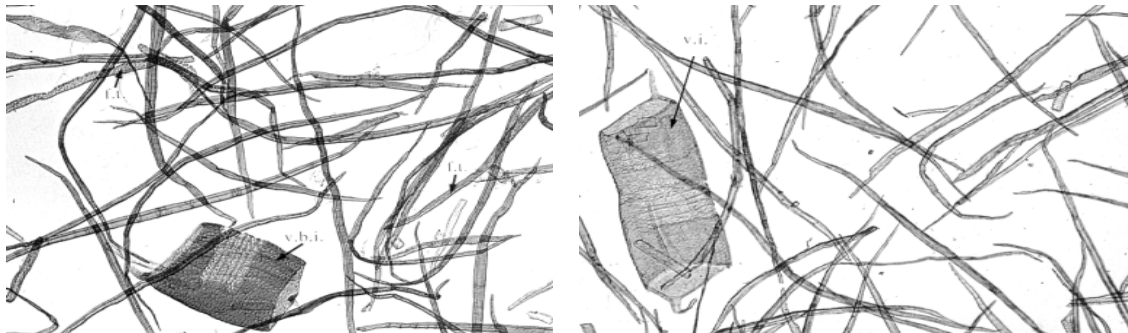
EUCALIPTOS

Hoje, os laboratórios das fábricas de celulose e de papel estão sendo pressionados por uma infinidade de análises. Muitas fábricas gastam muito tempo analisando quase tudo, demoram e se atrasam por essa razão. As decisões são sempre tomadas fora de hora e muitas análises sequer são avaliadas no processo de tomada de decisão. O chefe do laboratório está sempre a reclamar que tem pouco material humano e

que o “downsizing” muito praticado no setor está sempre a lhe reduzir a capacidade de atender bem o seu papel de avaliador e controlador da qualidade do processo e dos produtos. Justificativas estão sendo sempre criadas. Ele se sente relativamente perdido, mas ele deseja manter sua área trabalhando o quanto puder para atender seus clientes (gerentes de produção e comercial). Uma vez que o número de análises e a capacidade de armazenamento desses resultados aumentou pelos sofisticados sistemas de Tecnologia da Informação, o tempo para se refletir sobre os dados tem sido reduzido. O grande perigo é que a qualidade desses dados também seja afetada. De qualquer forma, muitas vezes se analisa muito, mas não se analisa o que é preciso ser analisado. Tampouco se reflete sobre o que se analisa.

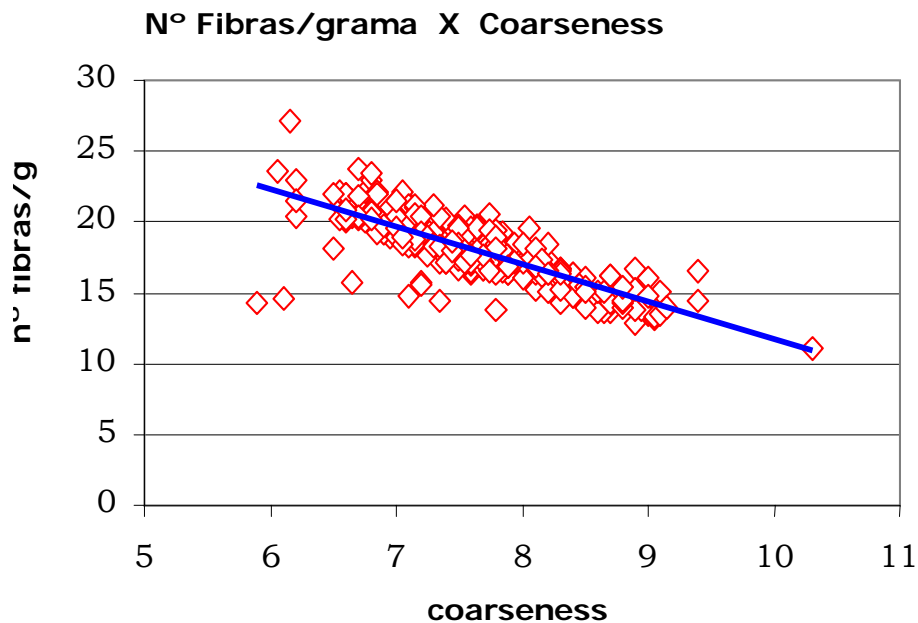
As seguintes propriedades de qualidade das celuloses são fatores chaves para distinguir diferentes polpas kraft branqueadas de eucaliptos. Com isso, elas podem permitir otimizações da produção tanto de papéis como de polpas orientadas a usos diferenciados:

- População de fibras ou número de fibras por grama de celulose (associada à “coarseness” das fibras)



Fonte: Portucel/Soporcel, 2003

A população fibrosa está associada ao peso de cada fibra individual, e por extensão, à “coarseness” da polpa e à percentagem de parede celular sobre o volume da fibra. A população fibrosa é uma propriedade composta derivada do comprimento da fibra e da sua “coarseness” (chamada por alguns de “aspereza da fibra”). Desde que o comprimento da fibra dos eucaliptos é uma propriedade relativamente estável em sua faixa de variação (a média do comprimento ponderado varia entre 0.6 a 0.85 mm), existe uma correlação muito forte entre população fibrosa e “coarseness”.



Fonte: Milanez, 2007

Existem diversas propriedades das fibras intimamente associadas à população fibrosa e à “coarseness” das fibras: comprimento das fibras, espessura da parede celular, área de parede celular na seção transversal da fibra, fração parede (relação percentual entre espessura da parede celular e o raio da fibra), índice de Runkel, índice de flexibilidade da fibra (relação entre diâmetro do lúmen e diâmetro da fibra), colapsabilidade da fibra, relação entre espessura da parede celular e perímetro da fibra, densidade da parede celular, densidade básica da madeira, flexibilidade da fibra úmida, e teor de finos da polpa.

Visto que a população fibrosa, e por consequência a “coarseness”, se constituem talvez em algumas das mais importantes propriedades de uma polpa kraft de eucalipto, é muito importante conhecer bem os tipos de efeitos que elas possam ter sobre os papéis.

Primeiramente, é importante se entender muito bem as tendências das inter-relações entre a morfologia das fibras e sua população fibrosa:

- Espessura da parede celular (-)
- Comprimento das fibras (-)
- Fração parede (-)
- Área de parede celular na seção transversal da fibra (-)

É óbvio, a partir das correlações acima enunciadas, que as relações entre essas propriedades morfológicas das fibras e a “coarseness” acontecerão de forma oposta. É muito simples de entender

que altas “coarseness” em polpas de eucalipto estão associadas com fibras de paredes espessas e grossas (“coarse fibers”). Essas fibras produzem um papel de rede mais solta e frouxa, sem muita ligação entre fibras. Essas fibras de paredes espessas são rígidas e mais difíceis de se colapsarem. A ligação entre fibras e a consolidação da folha de papel não são favorecidas com essas fibras cilíndricas e rígidas na rede do papel. Os papéis correspondentes são mais porosos, volumosos, rugosos e absorventes.

Uma melhor consolidação da rede do papel é esperada acontecer com muito mais fibras por grama de polpa. Como resultado disso, quanto maior for a população fibrosa, maior é o entrelaçamento de fibras e as possibilidades de contatos fibra a fibra. Com isso, melhoram as propriedades que dependem da ligação entre fibras (tração, estouro, rasgo, dobramento, resistência superficial e resistência interna da folha). A formação da folha também é favorecida pelo aumento da população fibrosa. O número de cruzamentos entre fibras na rede estrutural do papel é proporcional à população fibrosa, para um papel de mesma gramatura e em uma mesma área de folha. Visto que a ligação entre fibras é altamente favorecida, as propriedades do papel que não apreciam a ligação entre fibras são prejudicadas: volume específico, porosidade, absorção de água, maciez ao tato e aspereza superficial.

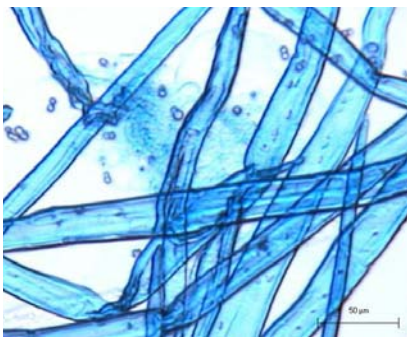
“Coarseness” em polpas de eucaliptos pode variar de 4.5 a 11 mg/100m. A população fibrosa por sua vez varia de 12 a 30 milhões de fibras por grama de polpa seca. Essas duas propriedades possuem uma ampla faixa de variação e por essa razão permitem importante diferenciação em qualidades do papel e das celuloses.

Já sabemos que a população de fibras e a “coarseness” das polpas/fibras estão associadas a um grande número de propriedades do papel. Para fins de bom entendimento, apresentaremos a seguir as correlações fortes que existem entre população fibrosa com algumas das mais importantes propriedades do papel. Mais uma vez, como “coarseness” se relaciona negativamente com população fibrosa, as relações entre “coarseness” e essas mesmas propriedades ocorrem de forma oposta.

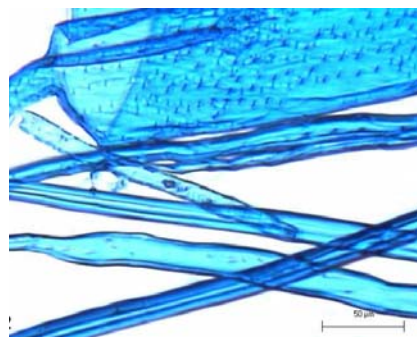
População fibrosa se correlaciona forte e positivamente com: formação, lisura superficial, opacidade, coeficiente de dispersão de luz, ligação entre fibras, resistência superficial, resistência à tração, estouro, dobramento, resistência ao ar, índice de retenção de água, flexibilidade da fibra úmida, resistência da folha úmida, alongação da folha úmida (somente ao se comparar polpas de eucaliptos e não entre fibras longas e curtas), Schopper Riegler da polpa sem refinação.

População fibrosa se correlaciona forte e negativamente com: porosidade, rigidez, drenagem, volume específico, resistência ao rasgo, estabilidade dimensional, absorção de água, maciez da folha.

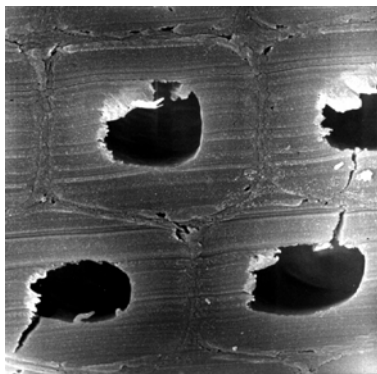
Pode-se também afirmar que as polpas com menor população fibrosa mostram melhor drenagem na parte úmida da máquina de papel, sendo que as suas folhas são mais porosas, volumosas, absorventes e permeáveis. Por essa razão, essas fibras são bastante apreciadas pelos fabricantes de papel, já que cooperam para atendimento de algumas das necessidades fisiológicas do papelero, entre as quais o aumento da velocidade das suas máquinas.



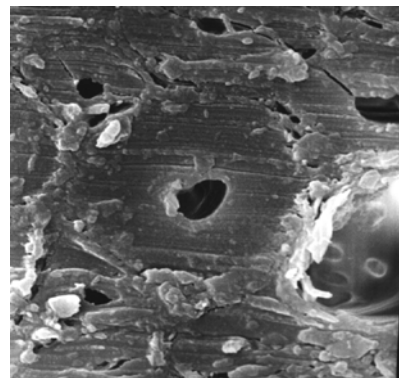
Fibras de baixa coarseness/baixa fração parede
Fonte: Queiroz, 2002



Fibras de alta coarseness/alta fração parede
Fonte: Queiroz, 2002

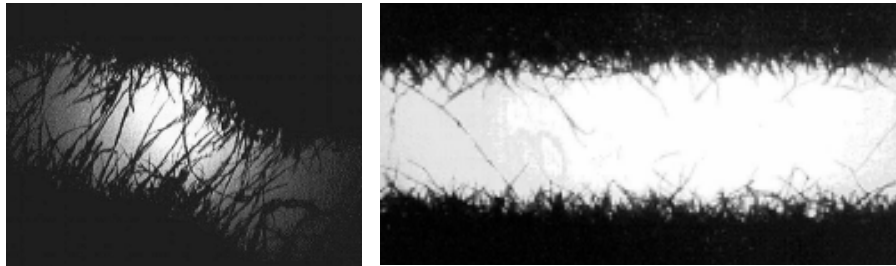


Fibras de baixa coarseness/baixa fração parede
Fonte: Milanez, 2007



Fibras de alta coarseness/alta fração parede
Fonte: Milanez, 2007

- **Resistência da fibra individual**



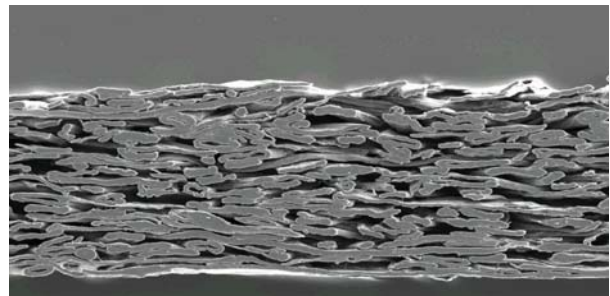
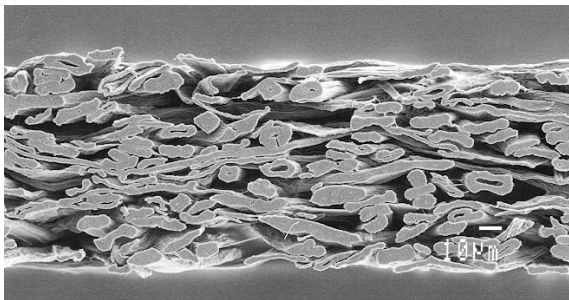
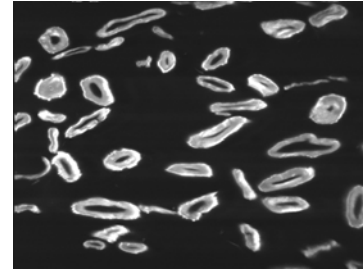
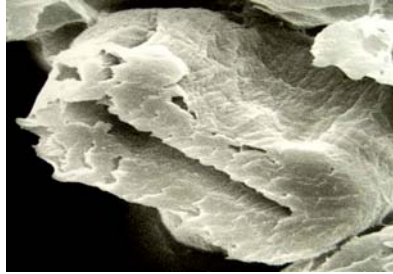
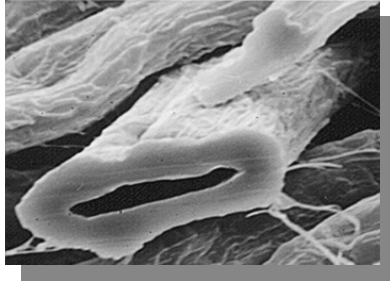
Corpos de prova do ensaio zero span

Essa característica é muito difícil de ser medida em fibras curtas como as dos eucaliptos. Existem testes correlacionados com essa resistência da fibra individual como é o caso da resistência à tração zero span. Ela é muito útil para se ajudar na predição da resistência da polpa e seu comportamento na máquina de papel. As deformações das fibras ("curl" e "kinks"), bem como as micro-fraturas na parede celular contribuem para a diminuição da resistência da fibra individual. Quando se perde resistência da fibra individual, perde-se também resistência da folha úmida e resistências do papel seco.

Os testes de zero span fornecem boas indicações da resistência da parede celular e da fibra individual. Existem diferentes valores medidos pela metodologia do zero span: zero span na folha úmida, zero span na folha seca, span curto na folha úmida e na folha seca. Há ainda uma relação denominada de valor B, que está relacionada à ligação entre fibras na folha de papel. As resistências à tração zero span se relacionam muito bem com: integridade da parede celular (+), densidade da parede celular (+), comprimento de fibra (+), viscosidade da polpa (+) degradação da cadeia de carboidratos (-), ângulo micelar ou microfibrilar (-), histerese (+), fração parede (+), além da composição química das fibras. Embora muitas vezes referido como um excelente fator de resistência das fibras individuais para o caso de fibras longas, o ângulo micelar da camada S_2 não se tem mostrado tão significativo para o caso das polpas de eucaliptos. A maioria das polpas de eucaliptos possuem ângulos pequenos, quase fechados em relação ao eixo da fibra (entre 8 e 15°).

A resistência intrínseca da fibra individual pode ser relacionada muito bem e positivamente com os testes zero span da folha úmida e da folha seca. Para polpas de eucalipto, sem refinar, a variação dos resultados dos testes de zero span estão nas seguintes faixas de variação: zero span da folha úmida (de 70 a 140 Nm/g) ; zero span da folha seca (de 90 a 160 Nm/g). O valor de B, relacionado à ligação entre fibras dos corpos de prova, mostra valores para polpas de eucalipto entre 1.5 a 3.0.

- Colapsabilidade das fibras



A colapsabilidade das fibras está associada com a compactação da folha úmida. A compactação da folha úmida e sua consolidação está relacionada à facilidade com que as superfícies das fibras se ajustam e se conformam umas às outras quando a folha úmida é formada e prensada. Uma folha úmida bem compactada e consolidada tem maiores possibilidades de manter essa estrutura depois do papel ser secado. A compactação da folha faz o papel ficar mais denso e coloca as paredes celulares mais próximas uma das outras. Isso porque a compactação favorece o colapso do lúmen e a ligação entre fibras. As propriedades que dependem da ligação entre fibras (tração, estouro, dobramento, resistência superficial, resistência ao ar) são bastante melhoradas pela colapsabilidade das fibras e dos lúmens. Por outro lado, algumas das propriedades mais valorizadas nas fibras dos eucaliptos acabam se perdendo pelo colapso da fibra e pela compactação do papel (volume específico, porosidade, opacidade, absorção de água, maciez e estabilidade dimensional). A colapsabilidade da fibra e a compactação da folha a úmido são resultantes da resistência da fibra ao colapso do lúmen. Existem porém outras maneiras de se colapsar fibras na fábrica de papel por ação mecânica, como as operações de secagem e de calandragem. Entretanto, o colapso da parede celular é muito mais pronunciado na fase úmida do papel, quando a fibra possui maior flexibilidade a úmido. O colapso do lúmen converte fibras cilíndricas em fibras similares a fitas, com maior ligação e pontos de contato entre elas. O lúmen se colapsa porque a estrutura da fibra (parede celular e arquitetura da fibra) é

incapaz de resistir ou de absorver as energias e pressões aplicadas no refino ou na pressão sobre a folha úmida. Na maioria dos casos, as fibras de paredes espessas, com maior fração parede, são mais rígidas e resistentes ao colapso. Por isso, a colapsabilidade das fibras de eucalipto está negativamente relacionada à "coarseness". Maior a "coarseness" da polpa/fibra, mais difícil é se colapsar o lúmen dessas fibras. Fibras com maior potencial ao colapsamento têm maior índice de retenção de água e drenam mais dificilmente na parte úmida da máquina.

Uma outra propriedade morfológica muito relacionada ao colapso do lúmen é a área de parede celular na seção transversal da fibra. Uma propriedade muito interessante desenvolvida a partir da "coarseness" e da área de parede celular na seção transversal da fibra é a densidade da parede celular. Ela pode ser calculada conforme a expressão a seguir:

Densidade da parede celular (g/cm³) = (10 x "coarseness") / (Área de parede celular na seção transversal da fibra)

Coarseness em mg/100m

Área de parede celular na seção transversal da fibra em micrômetros

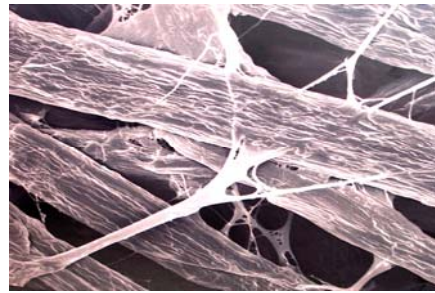
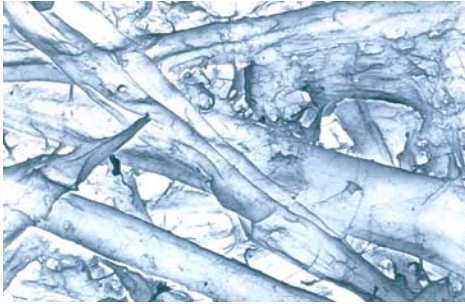
Uma medição indireta da colapsabilidade da fibra é o volume específico do papel seco (ou então a densidade aparente da folha) a um determinado nível de Schopper Riegler, ou a um determinado nível de resistência à tração. Quanto maior o volume específico a um determinado nível de Schopper Riegler ou de resistência à tração, menos colapsadas estarão essas fibras na estrutura do papel. Quanto maior a densidade da folha seca, mais compactada estará a folha e mais colapsadas as fibras. O volume específico aparente ou a densidade aparente das folhas podem ser expressos a uma determinada drenabilidade (exemplo: 25 ou 30°SR) ou tração (exemplo: 50 a 70 Nm/g). Esses valores e a "coarseness" das polpas são excelentes indicadores da habilidade ao colapso do lúmen e da compactação das folhas.

Uma outra propriedade muito interessante a ser medida a um determinado nível de grau Schopper Riegler ou de resistência à tração é a resistência ao ar da folha seca de papel. Essa propriedade é muito sensível à compactação das folhas de papel.

- **Habilidade de ligação entre fibras e propriedades da rede estrutural do papel**

Quanto melhor for a ligação entre fibras, maior é a coesão entre as fibras na rede estrutural do papel. Essa coesão entre fibras é desenvolvida pela refinação (fibrilação e colapso de lúmens das fibras) e pela presença

de finos e de fragmentos de fibras. A ligação entre fibras pode ser medida pelo teste B da metodologia do zero span. Outros testes excelentes para se medir a ligação do papel seco são os relacionados à direção Z do papel (resistência superficial e resistência à delaminação). Para isso são muito usados o teste Scott Bond e os tradicionais bastões de cera para se medir a resistência superficial quanto ao arrancamento de fibras.

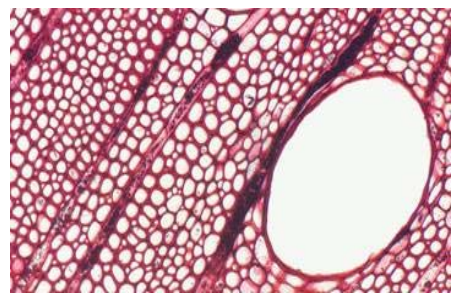
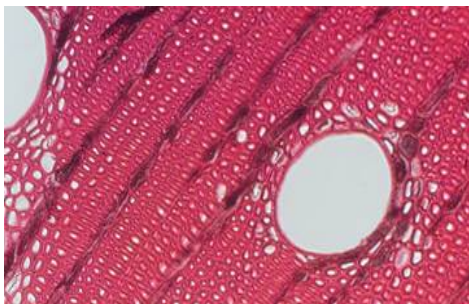
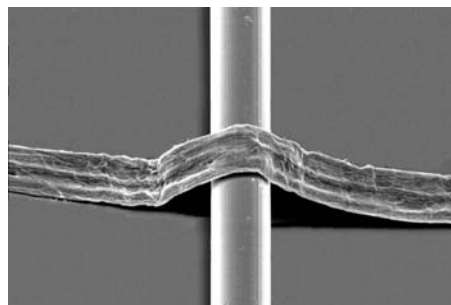
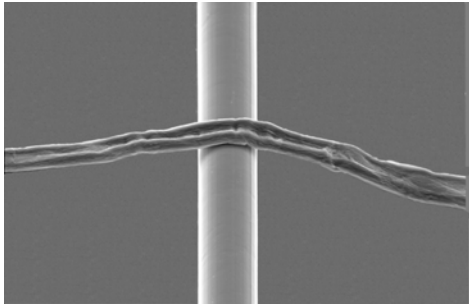


Ligação entre fibras: algo muito importante na fabricação do papel

A ligação das fibras é muito relacionada com diversas resistências do papel seco, como resistência à tração, estouro, dobramento e se relaciona também à densidade da folha e à resistência ao ar. Outras propriedades que afetam ou se relacionam à ligação entre fibras: teor de hemiceluloses (+), população fibrosa (+), drenabilidade da fibra não refinada em °SR (+) ou "freeness" canadense (-), teor de finos (+), colapsabilidade das fibras (+), flexibilidade da fibra úmida (+), densidade aparente das folhas (+), resistência ao ar das folhas (+). Quanto maior a densidade aparente das folhas de papel, mais estão ligados e compactados os elementos anatômicos na estrutura do papel, a uma mesma gramatura. As polpas com baixo teor de hemiceluloses ou alta "coarseness" conduzem à formação de papéis com baixa coesão, baixa consolidação e escassa ligação entre fibras. Essas fibras cilíndricas, ao invés de se colarem ou se unirem umas às outras, apenas se tocam, ficando as estruturas do papel mais frouxas. Fibras leves, com baixa "coarseness" e com alta população fibrosa, formam folhas melhor consolidadas, lisas e densas. Esses tipos de folhas se adequam muito bem a certos tipos de papéis de impressão.



- **Flexibilidade da fibra úmida**



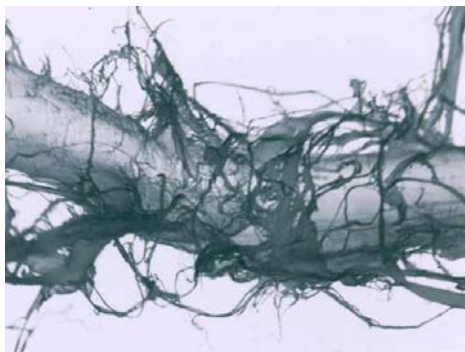
Flexibilidade da fibra úmida em fibras de eucaliptos com alta "coarseness" (esquerda) e baixa "coarseness" (direita) - (metodologia proposta por R. Steadman & P. Luner).

Cortesia das fotos : Aracruz Celulose - Ergílio Cláudio-da-Silva Jr. & Braz Demuner

A flexibilidade das fibras úmidas consiste em uma das principais propriedades da celulose. Ela está diretamente relacionada com a ligação entre fibras (+), com o colapso do lúmen das fibras (+), com o índice de retenção de água (+) e com o volume aparente das folhas (-). Tem sido mostrado por diversos pesquisadores e estudiosos que a flexibilidade da fibra úmida pode ser facilmente medida atualmente. Ela se relaciona muito bem com as propriedades de resistência e propriedades óticas do papel seco. Ela ainda se relaciona bem com a consolidação e conformação e com a colapsabilidade da folha e das fibras. Entretanto, seu resultado é afetado por deformações nas fibras, pois a fibra acaba danificada e isso atrapalha os testes. A flexibilidade da fibra úmida é uma propriedade oposta à rigidez da fibra. Como qualquer medição de flexibilidade, espera-se com ela medir como a fibra se curva em seu comprimento pela ação de uma força, que pode ser seu próprio peso. Uma vantagem muito boa da medição da flexibilidade da fibra úmida é que ela se correlaciona excelentemente bem com a resistência da folha úmida e com a elongação da mesma folha úmida de papel. Maiores valores de flexibilidade se refletem, no caso dos eucaliptos, em maiores resistências da folha úmida e em maiores elongações dessa mesma folha úmida. Isso é muito interessante para o fabricante de papel para prever o comportamento da polpa em sua máquina com relação às quebras da folha.

Flexibilidade da fibra úmida mostra boa correlação com certas características das fibras como por exemplo: "coarseness" (-), espessura da parede ou fração parede (-), resistências do papel seco (+), densidade aparente do papel seco (+), IRA – índice de retenção de água (+), rigidez da fibra (-), volume específico da folha de papel (-).

- **Inchamento e hidratação das fibras**



Delaminação, desfibrilamento, hidratação e inchamento da parede celular com a refinação

Essa propriedade é muito influenciada pelas operações de cozimento e de branqueamento durante a fabricação da celulose, pois afetam o teor de hemiceluloses e a degradação da parede celular. Algumas propriedades importantes estão relacionadas ao inchamento das fibras: grau de refinação, IRA – índice de retenção de água, cargas superficiais das fibras, grupos carboxílicos e carbonílicos, teor de finos, macro-porosidade da parede celular, micro-fraturas da parede celular, flexibilidade da fibra úmida.

A hidratação das fibras deve ser entendida de diferentes formas. Primeiro, nós temos a água da parede celular, a água que é absorvida e retida na parede celular devido às cargas e à polaridade dos compostos dessa parede e também por sua micro-porosidade. Segundo, temos a água retida por capilaridade dentro dos lúmens das fibras. Quanto maior o volume de lúmen que uma polpa possuir, maior será a chance de reter água dessa maneira. Terceiro, nós temos a água inter-fibras, a água que permanece entre as fibras no manto de fibras do teste de IRA.

O IRA é uma medição da afinidade da polpa pela água. Dependendo da rede fibrosa e da população fibrosa, maior ou menor será a quantidade de água que esse manto de fibras poderá reter. Quando o IRA é medido utilizando um manto de fibras e uma centrífuga para expulsar a água excedente, o resultado do teste indica um valor que abarca esses três tipos de água. É fácil entender que polpas ricas em volume de lúmens e com mais fibras por unidade de peso terão maiores

valores de IRA. Pequenos e numerosos capilares (lúmens) são mais aptos a segurar e reter água que capilares grandes. Como consequência disso, o IRA é fortemente relacionado a: população fibrosa (+), "coarseness" da fibra (-), fração parede (-), flexibilidade da fibra úmida (+) e ponto de saturação das fibras (+). O IRA é também influenciado pela composição química das fibras. As hemiceluloses retêm mais água, logo fibras com maior teor de hemiceluloses podem reter mais água em suas paredes celulares. Por outro lado, muitos dos extrativos das polpas são hidrófobos, ou seja, polpas com muitos extrativos repelem mais a água.

Deve então ser entendido que o IRA é uma propriedade combinada que envolve efeitos químicos (teor de hemiceluloses) e físicos (população de fibras, volume total de poros, distribuição dos capilares em sua dimensão). O resultado dessa combinação fornecerá o valor de IRA. Podemos eventualmente ter uma polpa com baixo teor de hemiceluloses, mas com alta população fibrosa. Isso acabará por lhe garantir um alto valor de IRA.

O alto teor de hemiceluloses associado com numerosa população fibrosa e fibras degradadas (baixa viscosidade) conduzirá a polpas com altos IRA e muito difíceis de drenar e desaguar na máquina de papel. Essas polpas, mesmo quando não refinadas, possuem alto grau Schopper Riegler, mostrando que a drenabilidade é dificultada mesmo para polpas não refinadas. A maquinabilidade na fabricação do papel é muito prejudicada por condições como essas.

Existem polpas de eucaliptos com alto teor de hemiceluloses, como é o caso de polpas de mercado de *Eucalyptus globulus*. Entretanto, uma característica típica do *E.globulus* é a mais alta "coarseness" de suas fibras. Com isso, a combinação desses dois fatores permite que os IRA dessas polpas sejam perfeitamente aceitáveis.

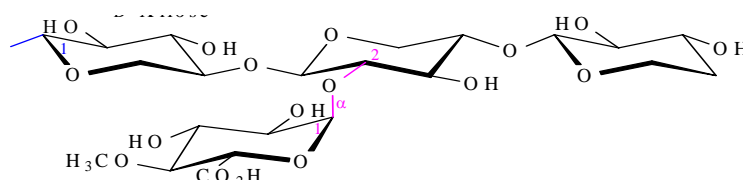
Para o papelheiro, o que realmente interessa é a porosidade e a capilaridade da folha de seu papel e não do manto de fibras onde se faz o teste de IRA. Polpas com alto IRA podem ter um enorme volume de poros e capilares de seus lúmens no manto de fibras onde se testa o IRA. Entretanto, essas fibras não são recomendadas para papéis absorventes ("tissue" e filtros) onde se quer altas porosidades nas folhas do papel. A razão é fácil de entender. Essas polpas com alto IRA possuem alta população fibrosa, fibras de paredes finas e facilmente colapsáveis. A estrutura do papel será densa e compacta, muito diferente do que necessita o papelheiro, apesar do alto volume de lúmens que essas fibras apresentam por grama de fibras.

Um valor excessivo de hidratação e de inchamento pode ser um problema em fábricas integradas de papel de eucalipto. Isso porque as polpas utilizadas são polpas que nunca foram secadas na sua fabricação. Quando a polpa é submetida à secagem, o fenômeno da histerese provoca uma substancial redução no índice de retenção de água da polpa. Polpas

secas, com baixos valores de IRA, possuem uma drenagem muito melhor na mesa plana da máquina de papel. Entretanto, essas fibras secas são ligeiramente mais difíceis de serem refinadas. Os seus níveis de resistência podem porém ser atingidos em níveis de refino ainda bastante convenientes para o papelero operar suas máquinas. Por essa razão, em algumas situações em fábricas integradas, o gerente da fábrica é obrigado a adicionar fibras secas para favorecer a drenagem. De forma usual, ele acaba adicionando também refugos secos de seu próprio processo. Com isso, ele acaba com a idéia ingênua de que o refugo é necessário em sua massa para facilitar a drenagem na máquina. Acaba até mesmo defendendo a geração de refugo. Santa ingenuidade. Refugos são perdas de processo, é papel pronto que vai para ser desagregado de novo. Toda a adição de valor que foi feita se perde. Além disso, como ele acontece em um "loop" fechado, a produtividade da máquina de papel é diminuída, pois o refugo reciclado ocupa parte de sua capacidade. A máquina fica re-trabalhando um papel que já havia sido produzido. A ineficiência aumenta e os custos também. Nesses casos, onde a drenagem é prejudicada por excessivo IRA da massa (com inchamento e hidratação associados a ele), uma solução viável é a compra de polpa seca no mercado e mesclá-la com polpa nunca seca para compor as receitas para a máquina. Nesses casos, o papelero tem ganhos de drenagem, mas deve reavaliar sua refinação para novas condições.

Hoje, existe uma tendência entre alguns papeleros compradores de polpa de mercado em solicitar maiores valores de pH nas folhas de celulose. Esse movimento vem ocorrendo devido ao crescimento da colagem alcalina pelos fabricantes de papel de impressão e escrita. O papelero pretende com isso economizar alguma soda que ele teria que usar para correções de pH nas suas operações. Maiores pHs significam problemas de drenagem para o fabricante de celulose em sua máquina formadora de folhas. Os valores mais tradicionais de pHs para polpas de mercado de eucalipto têm sido entre 5.0 to 5.5. Hoje, a tendência para muitos clientes tem sido uma elevação para a faixa de 7.0 – 7.5.

- **Teor de hemiceluloses da polpa**



O teor de hemiceluloses é vital nos processos de fabricação de papel. Os fabricantes de celulose também gostam muito delas e de

preservá-las em seus processos de digestão e de branqueamento. Com isso, eles estão melhorando o rendimento dessa conversão e melhorando suas margens econômicas e os resultados da fábrica. As polpas com baixos teores de hemiceluloses, como as polpas solúveis, são difíceis de serem refinadas, as ligações entre fibras são poucas e fracas. Como uma grande porcentagem das hemiceluloses das polpas de eucaliptos são xilanas, o teor de pentosanas é bastante significativo para se prever a qualidade dessas polpas. As celuloses contendo maiores teores de hemiceluloses ou pentosanas são aptas a produzir papéis com maiores resistências, melhores ligações entre fibras, melhor lisura superficial, mas menores volume específico aparente e porosidade. Nenhum outro componente químico das polpas de eucalipto influencia mais as propriedades do papel do que as hemiceluloses, desde que as cadeias de celulose não estejam muito danificadas ou degradadas.

O teor de hemiceluloses pode ser afetado pela operação dos modernos digestores de produção de celulose. O tipo e a forma de se operar o branqueamento também colabora para se remover mais ou se preservar mais hemiceluloses. Esses dois fatores combinados podem representar significantes remoções ou melhorias nos teores de hemiceluloses das polpas kraft branqueadas. Dessa forma, os fabricantes de celulose devem entender muito bem seu papel nesse processo. A qualidade da madeira, as operações de cozimento e de branqueamento e a maneira como a fábrica de celulose é operada no seu dia-a-dia podem representar oportunidades para preservar ou reduzir o teor de hemiceluloses nas polpas de eucaliptos.

As hemiceluloses são compostos bastante hidrofílicos. A presença de hemiceluloses na polpa auxilia a habilidade das mesmas em atrair e em reter água na parede celular. Esse fenômeno melhora o inchamento das fibras, enfraquece as ligações entre as microfibrilas na parede celular e colabora para um mais fácil refino da polpa. Quanto maior é o teor de hemiceluloses, maior é a flexibilidade da fibra úmida, e conseqüentemente, melhor é a ligação entre fibras. As paredes das fibras se tornam mais plásticas e flexíveis. Como resultado, para um mesmo nível de "coarseness" e de refinação, as polpas com mais hemiceluloses formam folhas de papel mais densas e menos porosas, com maiores dificuldades do ar se deslocar na direção Z do papel. A maciez da folha é negativamente afetada. Embora as hemiceluloses sejam substâncias hidrofílicas (amigas da água), como elas cooperam para a redução da porosidade e do volume específico das folhas de papel, elas estão também colaborando para uma menor absorção de água pela folha desse papel. O papel mais denso e compactado tem maiores dificuldades de absorver e reter água. Comportamento curioso: quimicamente é favorável, mas fisicamente não.

Em razão dessas características que as hemiceluloses provocam nos papéis, existe um número importante de outras propriedades que são afetadas no papel. A drenagem na máquina de papel pode ser negativamente afetada, mas há casos de comportamento oposto. Isso acontece quando, devido ao maior teor de hemiceluloses, a polpa pode ser refinada a um menor nível de grau Schopper Riegler, e com isso, alcançando mais facilmente suas resistências desejadas. Nesses casos, a maquinabilidade e a performance da máquina pode até ser favorecida. Quando o refino é realizado a um menor nível de °SR existem muitas melhorias na máquina e no papel: drenagem, economias de vapor na secagem, estabilidade dimensional, porosidade, etc.

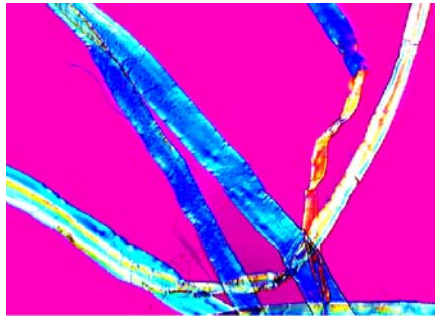
Para alguns tipos de papel, os altos teores de hemiceluloses podem não ser desejados: papéis sanitários "tissue", papéis decorativos, papéis filtros, papéis base impregnação, etc. A remoção de hemiceluloses pode ser uma possível alternativa. Essa remoção pode ser feita de diversas formas: uso de madeira com menor teor de hemiceluloses, drastificação do cozimento a menores número kappa e com maior alcalinidade residual para reduzir a reprecipitação de xilanas no final do cozimento, ou remoção por mais drástico estágio alcalino do branqueamento.

Quando as hemiceluloses são parcialmente removidas, o peso individual de cada fibra é até certo ponto reduzido. Logo, o número de fibras por grama é aumentado e com isso, aumenta a população fibrosa. Porém, a redução do teor de hemiceluloses na fabricação da celulose é muito dolorida e penosa ao produtor de celulose. O rendimento diminui e aumenta o consumo de madeira por tonelada de celulose. A drastificação do cozimento de madeira de eucalipto para reduzir o teor de hemiceluloses para torná-la mais favorável para papéis "tissue" pode significar perdas de 1.5 a 2.5% no rendimento do cozimento base madeira. Isso significa aumento dos custos no componente madeira no processo, ou perda de produção da fábrica quando digestores, caustificação ou caldeira de recuperação estejam nos limites de produção (ou em gargalo). Uma indicação relativa do efeito: uma redução de 2.5% no teor de hemiceluloses de uma polpa pode representar reduções de até 10% na resistência à tração, com melhorias imediatas na porosidade, absorção, maciez e volume específico aparente do papel.

Em anos recentes, novas oportunidades estão surgindo para a remoção de hemiceluloses da madeira para produção simultânea de etanol e de celulose para papel. O conhecido conceito de bio-refinarias exatamente prega a utilização de parte das hemiceluloses da madeira para produção de álcool, um valioso bio-combustível. A consequência é interessante: a possibilidade de se diferenciar as polpas produzidas dessa forma, com mais reduzido teor de hemiceluloses. Isso sem afetar a economicidade do processo de forma negativa. Inclusive se melhoram as

características ambientais dos filtrados do branqueamento pelo menor teor de DQO (demanda química de oxigênio) que deverão conter.

- Deformações das fibras e integridade e danos na parede celular



"Curl" e "kinks" em fibras (Fonte: Paprican, Canadá)

As polpas de eucalipto são submetidas a severas ações mecânicas e a difíceis estresses em seu processamento. A vida da fibra definitivamente não é fácil, acreditem-me. Durante o cozimento e o branqueamento, as condições alcalinas favorecem a desorganização estrutural das cadeias de microfibrilas da parede celular. A remoção de componentes da parede celular ajuda a formação de macro-poros na mesma. A parede se torna mais frágil e danificada em relação à sua estrutura original na madeira. Essa maior fragilidade da parede favorece que as fibras de celulose sejam mais deformadas quando forças mecânicas são aplicadas sobre elas. Deformações das fibras e colapsos de lúmen são por isso freqüentes nas fibras. Quanto mais as fibras são danificadas no cozimento e branqueamento, mais fácil será a ocorrência de deformações e de colapsos nas mesmas.

A alcalinidade favorece a hidratação das fibras e o inchamento das paredes celulares. Isso colabora para que se perca a organização original da parede celular. A rede de microfibrilas se enfraquece, torna-se mais frouxa e fraca. Isso favorece a refinação, melhora a ligação entre fibras e a flexibilidade da fibra úmida. Entretanto, a resistência da fibra individual é prejudicada. Condições muito severas para reduzir o número kappa ou para cozinhar madeiras densas, em geral, são danosas para a parede celular das fibras. Mais danos e menos hemiceluloses terão essas fibras. As fibras tornam-se mais fracas e mais sensíveis a deformações causadas por forças aplicadas no processo: prensagem, bombeamento, agitação, etc. Por essas razões, podemos ter polpas com a mesma fração parede e "coarseness", obtidas da mesma matéria prima madeira, mas com

distintas performances papeleiras. Elas poderão possuir resistências individuais de fibras e resistências do papel diferentes por esses motivos.

As fibras muito degradadas possuem também maior IRA e maior valor de ponto de saturação das fibras. Elas podem absorver mais água porque as microfibrilas estarão mais abertas e frouxas e a rede de microfibrilas mais porosa. A flexibilidade da fibra úmida é aumentada e com isso, aumenta-se o colapso dos lúmens. Fibras degradadas possuem rápida resposta ao refino, o grau Schopper Riegler sobe rápido, mas não desenvolvem resistência (tração e rasgo). Essas fibras degradadas são fracas e se quebram mais facilmente. Aumenta com isso o teor de finos pelo aumento do teor de fragmentos de fibras. A resistência da folha úmida piora e também menor é o teste do zero span. Essa é uma situação terrível, mas é a vida real em muitas fábricas. Fibras degradadas como essas não se comportam como fibras normais. Elas não são capazes de resistir às forças aplicadas na refinação, na prensagem a úmido, etc. O papeleiro está face-a-face com um terrível dilema: “refino rápido, alto inchamento da massa, mas papel sem resistência alguma, sem volume específico, sem porosidade, enfim, uma desgraça total” .

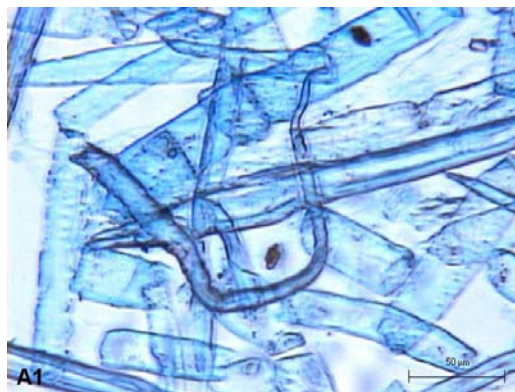
O que devem os fabricantes de celulose fazer para prevenir os danos na estrutura da parede celular? Como eles podem melhor preservar as fibras de celulose? Como poderão reduzir as reações de despolimerização da celulose? Nosso estimado amigo e professor Panu Tikka, da Helsinki University of Technology, recentemente propôs: “Ao invés de pensarmos tanto em lignina residual e em ácidos hexenurônicos residuais na polpa kraft após cozimento e branqueamento, porque não nos preocuparmos com a fibra residual?”

Quando as fibras são submetidas a esforços mecânicos elas são sensíveis a sofrerem deformações, não importa que sua viscosidade seja alta ou baixa. As deformações em fibras de boa qualidade são até certo ponto muito interessantes por um número de razões. As deformações nas fibras são mais comumente referidas como “curl”, “kinks”, latência e micro-fraturas na parede celular. Elas afetam a resistência da fibra individual, mas elas provocam significativas melhorias na porosidade, volume específico, absorção e maciez das folhas de papel. Deformações de fibras podem ser aceleradas e provocadas por meios artificiais na fabricação da celulose ou do papel (“shredders”, despastilhadores, prensas lavadoras, refino a alta consistência, etc.). Embora ainda não completamente implementada como uma maneira de se diferenciar polpas, a utilização de deformações induzidas em fibras poderá se constituir em nova oportunidade para isso. Principalmente se nos recordarmos que dentre as propriedades mais admiradas nas polpas de eucalipto, as resistências das folhas não são as principais. Elas são importantes, mas não vitais.

- Teor de finos da polpa



Finos e fragmentos de fibras em uma suspensão de fibras em baixa consistência
Cortesia da foto: Techpap , CTP Grenoble & Regmed



Finos (células de parênquima) em uma polpa de eucalipto
Fonte: Queiroz, 2002

Os finos das polpas kraft são talvez uma de suas mais importantes propriedades papeleiras. Na maioria das vezes eles são vistos como problemas e quase nunca como soluções. Essa propriedade fundamental está sendo negligenciada por fabricantes de papel e de celulose, talvez porque os finos não são vistos como fibras, mas como células ou pedaços de células fracos e sem valor, a não ser de enchimento. Os finos são criados em maior quantidade quando as fibras são refinadas, o que

significa que os finos afetam dramaticamente a drenagem da folha úmida na mesa plana das máquinas de papel. O que eu proponho muito fortemente é que os papeleiros passem a ter maior atenção nos finos de sua polpa como um fator de sua qualidade. A melhor metodologia para se medir finos é através do vaso dinâmico de drenagem desenvolvido pelo Dr. Britt. Eles são calculados como a porcentagem do peso seco de uma polpa que passa através de uma peneira de malha 200 (aberturas de 70 micrômetros) , em condições padronizadas de consistência, temperatura e tempo.

A “gestão dos finos” em uma massa papeleira pode fornecer aos operadores uma forma simples para controlar uma grande maioria das propriedades do papel. Quando uma fábrica de papel tem duas ou mais máquinas de papel isso pode ser ainda mais efetivo. O operador pode distribuir seus finos em dosagens mais controladas, usando a flexibilidade que disporá para enviar finos através de sua água branca de um sistema de máquina para outro. Conforme o tipo de papel sendo fabricado, os finos podem ser mais ou menos úteis. Uma polpa pobre em finos pode se desempenhar melhor em uma máquina de papel, desde que tenha resistência para agüentar os esforços na máquina. Formação, maciez, porosidade, absorção, estabilidade dimensional, permeabilidade e volume específico são melhorados no papel, quando temos menos finos na massa. As resistências são por outro lado reduzidas em função do menor teor de finos. Em termos de performance de máquina, o menor teor de finos possibilita melhor drenagem da folha na mesa plana, maior consistência após prensagem úmida, menor consumo de vapor na secagem. Por essa razão, o fracionamento e a gestão dos finos entre máquinas e entre tipos de papel pode ser uma interessante opção. Em caso de máquinas com gargalos de produção, isso pode ser ainda mais favorável.

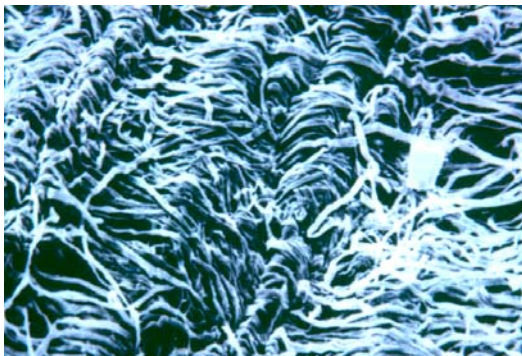
OS PRODUTOS PAPELEIROS MAIS USUAIS FABRICADOS

COM FIBRAS DE EUCALIPTOS

Quando somos capazes de fornecer ao papeleiro uma polpa que se transforma em uma massa adequada para sua máquina, o mesmo agradece, pois conseguirá qualidade, produtividade e poderá dormir sem ter pesadelos. Entretanto, conforme o tipo de papel que ele estará produzindo, suas exigências variarão. As polpas de eucaliptos são produtos especiais para a manufatura de papéis de alto volume específico aparente e de alta opacidade. Por isso, as polpas de eucaliptos são muito

admiradas e preferidas para a fabricação de papéis tipo "tissue", impressão e escrita, cartões multi-camadas, filtros industriais, papéis base para impregnação e revestimento, papéis para cigarros e muitos outros tipos de papéis. As fibras kraft branqueadas dos eucaliptos podem ser usadas como único material fibroso no fornecimento de massa para a máquina de papel, ou então misturada com outros tipos de fibras.

- Papéis tipo "tissue" e papéis de alto volume específico aparente



Superfícies de papéis "tissue" (estrutura frouxa para permitir absorção e maciez)

Os papéis "tissue" (e outros papéis porosos e volumosos) demandam certas propriedades especiais e também características de performance nas operações de suas máquinas de fabricação. São as seguintes essas propriedades:

- volume específico aparente
- estrutura do papel frouxa
- absorção de líquidos (absorção rápida e alta capacidade de retenção de água)
- superfície hidrofílica
- porosidade (tamanho e distribuição dos poros)
- maciez estrutural (a sensação de um papel macio e fofo)
- maciez superficial (ou maciez em relação ao tato, ou ainda a sensação que se tem quando se amarrota ou se amassa com a mão o papel "tissue")
- desenhos em relevo causados por ações mecânicas fortes na superfície do papel através das operações de crepagem e gofragem (esses desenhos melhoram a sensação de maciez e ajudam na melhor absorção e na beleza do papel)
- resistência do papel (úmido e seco) justamente na medida exata para permitir que o papel não se desmanche com o uso pelo cliente

- mínima resistência à tração (considera-se que a resistência à tração não deva ser superior a 20 Nm/g nos ensaios da massa) para evitar colapso dos lúmens das fibras e excessiva ligação entre fibras, o que prejudica a maciez e o volume específico da folha
- baixo valor de módulo de elasticidade, uma propriedade mecânica que se relaciona muito bem com a maciez do papel "tissue"
- capacidade do papel consolidado de reter seus componentes anatômicos como finos e vasos para evitar a formação excessiva de pó nas operações de conversão e manufatura
- resistência da folha úmida exatamente na medida, para permitir que a folha de papel não se rompa na máquina de papel, garantindo-se assim boa maquinabilidade na produção
- drenagem rápida na mesa plana da formadora
- baixo teor de finos para se evitar um acúmulo de finos no sistema de água branca. Isso prejudica a drenagem, a consistência após prensas e aumenta o consumo de vapor na secagem.

Os papéis "tissue" e outros papéis volumosos exigem fibras frouxas na estrutura do papel. Por essa razão, a ligação entre fibras é considerada um veneno para esses papéis. Os lúmens não devem colapsar, pois isso achatará as fibras, que acabarão mais unidas em um papel bem mais denso. O papel fica mais resistente, mas perderá as propriedades favoráveis de maciez ao tato e estrutural, devido à compactação da folha. Os finos são também indesejáveis por duas razões: ligação entre fibras e acúmulo no sistema de água branca da máquina, refletindo em perda de drenagem na mesa plana.

As propriedades das polpas kraft branqueadas de eucaliptos mais indicadas para a fabricação de papéis volumosos e do tipo "tissue" são as seguintes: baixa população fibrosa e conseqüentemente alta "coarseness" (dentre as fibras de eucaliptos, não se esqueçam), baixo teor de finos e de elementos de vasos, baixa capacidade de ligação entre fibras, baixa colapsabilidade das fibras, baixa flexibilidade da fibra úmida, baixo teor de hemiceluloses, baixos teores de extrativos e baixo "pitch", baixo IRA – índice de retenção de água, fibras de paredes espessas com altos valores de fração parede, fibras rígidas e cilíndricas, baixo valor de °SR na polpa não refinada, polpas com dificuldades de refinação (polpas com baixo desenvolvimento com o refino).

As deformações das fibras são também importantes. As deformações ajudam a melhorar o volume específico aparente, a porosidade e a absorção de líquidos desses papéis. Sempre lembrar que a deformação das fibras é algo que pode ser criado nas fábricas.

A fabricação de papéis filtros, base impregnação com resinas e também os papéis decorativos demandam essas mesmas propriedades,

inclusive em maior intensidade. Isso significa que para atingir esses mercados especiais, a diferenciação das polpas deve ser ainda mais pronunciada. A maneira mais simples de se obter esse tipo de polpas especiais e diferenciadas é se trabalhar com a população fibrosa e com a "coarseness", o que pode ser obtido a partir de madeiras de mais alta densidade no suprimento da fábrica de celulose. Complementarmente, pode-se buscar polpas com menor teor de hemiceluloses, menor teor de finos e deformações mais intensas nas fibras. O menor teor de finos pode ser conseguido por fracionamento ou pela remoção parcial de finos do sistema de água branca de uma máquina de papel ou de celulose e direcionando-os para outra máquina. A drastificação das deformações pode ser conseguida em equipamentos que intensificam as ações mecânicas sobre as fibras (prensas de alta consistência, secagem tipo "flash", desfibradores, etc.)

Uma outra maneira viável de se ganhar propriedades para a fabricação de papéis volumosos é valer-se do fenômeno da histerese. A secagem da polpa tem alto efeito sobre o valor do índice de retenção de água, da flexibilidade da fibra úmida, da ligação entre fibras e da colapsabilidade das fibras em seus lúmens. Fábricas integradas possuem mais dificuldades em atingir as qualidades desejadas na produção de "tissues" ou papéis volumosos. Uma solução é a adição de alguma percentagem de polpa destintada de mercado (DIP) ou alguma proporção de polpa branqueada seca de mercado. Essas polpas que possuem fibras que já foram secas cooperam para atingimento das propriedades desejadas nos "tissue" e papéis volumosos e porosos.

- **Papéis de impressão e de escrita**



Para papéis de impressão e escrita as propriedades desejadas são as seguintes:

- formação
- resistências da folha seca (tração, rasgo, dobramento)
- resistência interna do papel (delaminação na direção Z)

- lisura superficial
- resistência da superfície do papel (teste de ligação com o "Scott bonding tester" ou testes com bastões de cera Dennison)
- boa e adequada estrutura porosa (porosidade e/ou resistência ao ar)
- absorção de líquidos entre eles as tintas e mordentes
- estabilidade dimensional
- opacidade
- coeficiente de dispersão de luz

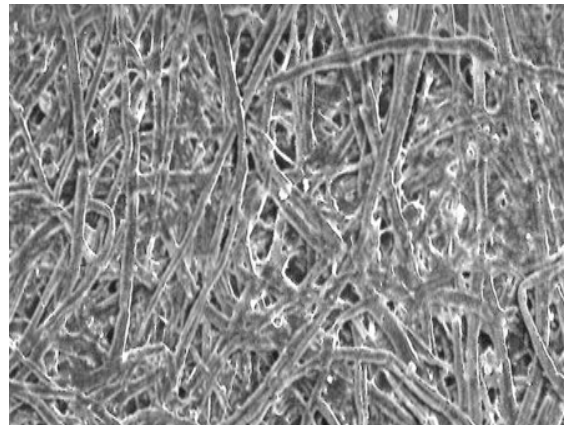
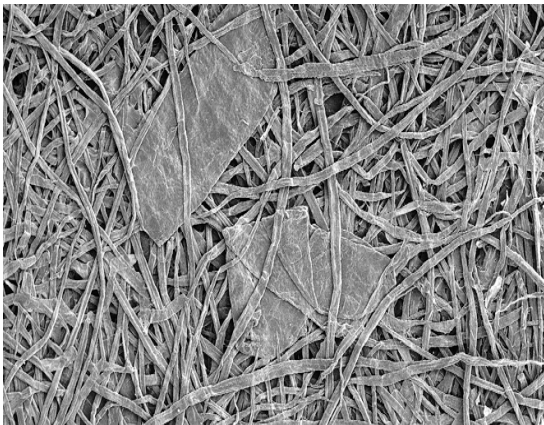
Ao mesmo tempo que sonha com essas propriedades, o papelero deseja manter a velocidade e a drenagem em sua máquina. Nós não podemos nunca esquecer dessa fisiologia papelera. Uma mais alta população fibrosa é muito importante para se conseguir melhor formação e opacidade, isso significando menores valores de "coarseness" dentre as fibras dos eucaliptos. Também, a ligação entre fibras é importante para melhorar as resistências, o fechamento e a lisura da folha. Os teores de hemiceluloses e de finos ajudam nessas metas. Entretanto, existem limites para isso tudo, ficando essas definições muito dependentes das condições operacionais e dos gargalos do sistema de fabricação do papelero. Uma alta população fibrosa pode ser magnífica para melhorar a formação, lisura e opacidade, mas pode deteriorar a drenagem na mesa plana e o consumo de vapor na secagem. O papelero terá que reduzir a velocidade da máquina e não gostará nada disso. Com certeza ele se recusará a usar de novo essa polpa. Ele busca qualidade e performance de suas máquinas, em balanço e alinhamento adequados. As deformações das fibras nesses papéis de impressão e escrita não são tão importantes. Entretanto, elas podem até certo ponto ajudar a balancear propriedades desejáveis. Os altos teores de hemiceluloses são definitivamente desejáveis, pois favorecem o refino, ligação entre fibras e resistências do papel seco.

Nossa polpa ideal deve ainda ter altas resistências a níveis baixos de °SR (alta velocidade e resposta ao refino). Isso é possível em polpas que possuem alto zero span, uma demonstração de alta resistência da fibra individual. Em uma situação de polpas como essas, é possível uma combinação ideal de resistências, volume específico e porosidade, além da desejada drenagem na mesa plana. O fabricante de papéis de impressão e escrita não gosta de polpas difíceis de refinar. Ele não quer gastar muita energia, discos de refino e custos com a refinação. Ele deseja altas resistências em baixos níveis de refinação. Polpas que necessitam muita refinação para atingimento das resistências prejudicam a performance da máquina e deterioram a estabilidade dimensional do papel. Definitivamente, as melhores polpas são aquelas que mostram boas resistências a baixos níveis de refinação. Por essa razão, uma propriedade importante a ser medida é o valor de resistências (tração,

rasgo, estouro, alongação) a um determinado e pré-fixado valor de volume específico (por exemplo: 1.6 ou 1.8 cm³/g), ou a uma determinada densidade de folha (por exemplo: 0.5 ou 0.55 g/cm³), ou a um determinado e baixo valor de grau de refino °SR (25, 30 ou 35°SR, dependendo do papel sendo fabricado).

O fabricante de papel de impressão e escrita é muito preocupado e atento a todas essas propriedades, nada mais natural.

Além dessas propriedades, existe mais uma muito importante para papéis de impressão: é o teor de elementos de vasos e as suas dimensões (especialmente o seu diâmetro). Vasos largos, numerosos e compridos são um problema para papéis de impressão. Eles são responsáveis por um defeito de impressão conhecido como "vessel picking" ou arrepelamento de vasos. O papelero necessita condições especiais para combater esse defeito em seus papéis. Por essa razão, polpas com menores teores e com vasos menores em dimensão, são melhores para esses tipos de papel.



Superfícies de papéis de impressão (elementos de vaso na foto à esquerda))

- **Papéis especiais**

Existem muitos outros tipos de papéis sendo produzidos com fibras kraft branqueadas de eucaliptos: auto-copiativos, fac-símile, cigarros, glassine, rótulos, etc. Na maioria dos casos, as fibras dos eucaliptos são utilizadas para melhorar a formação, opacidade, lisura, estabilidade dimensional, volume específico e porosidade. A população das fibras de eucaliptos e sua característica de fibras rígidas e difíceis de serem colapsadas são propriedades muito apreciadas pelos papeleiros. As polpas de eucaliptos não são indicadas para papéis onde se exige altíssimos graus de refinação, embora elas possam também atender a isso. A razão é que ao se refinar muito jogamos fora essas propriedades

maravilhosas como: volume específico, porosidade, formação, opacidade, estabilidade dimensional, maciez e absorção de água. No caso de fibras leves e com baixa "coarseness" (4.5 a 5 mg/100m) e alta população de fibras, a indicação é se usar as mesmas para papéis tipo glassine, bíblia, etc., onde o colapso das fibras é desejado. Isso é uma clara evidência que as polpas de eucaliptos são bastante versáteis e possuem uma ampla gama de utilizações.

Existe ainda um outro fator chave para o sucesso das fibras de eucaliptos: seu preço de mercado. Graças ao muito mais baixo custo de fabricação e maiores rendimentos de processo, com menos uso de madeira e químicos e maiores produções de polpa por valor investido, essas polpas podem ser oferecidas no mercado a preços mais competitivos que as fibras longas. Não há dúvidas que preço de mercado é um fator muito chave nas decisões dos clientes e usuários de polpas. Isso é uma regra básica em toda a cadeia de valor do setor papelero e afins.

CONCLUSÕES

A partir de todas as argumentações técnicas colocadas nesse capítulo especial do **Eucalyptus Online Book**, torna-se claro que as diferenças entre as performances e comportamentos das diferentes polpas kraft branqueadas de eucalipto não se devem apenas à morfologia e geometria das suas fibras. Existe um grupo de propriedades das polpas e fibras que permitem que uma fibra seja distinta de outra em sua performance papelera. Os fabricantes de papel e de celulose precisam conhecer muito bem essas interações para poder melhor usar e produzir essas fibras mágicas.

O que nós podemos fazer para trazer uma característica única aos nossos produtos em mercados tão competitivos? A quais propriedades das polpas dos eucaliptos devemos colocar mais atenção? Como nós podemos selecionar no mercado as polpas com melhor possibilidade de sucesso para o nosso processo? E para nossos produtos papeleros ficarem ainda melhores em suas qualidades?

Uma lista selecionada de propriedades das polpas e das fibras dos eucaliptos e consideradas muito importantes para a boa aplicação dessas polpas, bem como as faixas de variação para cada uma delas está a seguir apresentada. Espero que essa listagem de valores de qualidades de polpas kraft branqueadas de eucaliptos possa ajudar o nosso amigo

papeleiro a melhor selecionar suas matérias primas. Ela ainda permitirá ao fabricante de celulose melhor orientar e diferenciar seus produtos. Vamos então a elas:

- População fibrosa: 12 a 30 milhões de fibras/grama de polpa seca
- "Coarseness" da fibra: 4.5 a 11 mg/100m
- Comprimento de fibra (ponderado): 0.6 a 0.85 mm
- "Curl" da fibra medido como índice de "curl": 5 a 15%
- "Kinks" nas fibras: 0.4 a 1.5 "kinks" com ângulo maior que 30°/mm de fibra
- Espessura da parede celular: 2.5 a 5 micrômetros
- Fração parede da fibra: 30 a 55%
- Teor de finos (base peso, abaixo de 200 mesh, vaso dinâmico de drenagem): 4 a 10%
- Teor de pentosanas (hemiceluloses de folhosas): 12 a 22%
- S₅ – Solubilidade da polpa em soda cáustica a 5% (altamente relacionada a teor de hemiceluloses): 8 a 15%
- IRA da polpa não refinada (polpas nunca secas): 150 – 220%
- IRA da polpa não refinada (polpas secas): 100 – 130 %
- pH da polpa de mercado: 5 a 7.5
- Teor de extrativos em DCM: 0.05 a 0.25%
- Viscosidade intrínseca da polpa : 450 a 900 cm³/g
- Sujeira ou sujidade: menor que 2 mm²/kg
- Zero span na folha seca: 90 a 160 Nm/g
- Zero span na folha úmida: 70 a 140 Nm/g
- Valor B (zero span): 1.5 a 3
- Schopper Riegler inicial polpa não refinada : 16 a 24°SR
- Índice de tração a 25°SR: 35 a 60 Nm/g
- Índice de tração a 1.6 cm³/g de volume específico: 60 a 80 Nm/g
- Volume específico a 25°SR: 1.6 a 2.2 cm³/g
- Volume específico a 60 Nm/g de tração: 1.6 a 2.0 cm³/g
- Resistência ao ar a 60 Nm/g de tração: 1 a 10 s/100cm³

As performances dos produtos papeleiros, tanto no próprio processo de fabricação do papel, como na utilização final desses produtos, exige polpas de alta qualidade. As polpas kraft branqueadas de eucalipto oferecem um caminho para a obtenção de produtos de alta qualidade e valor. As fibras de eucalipto ganharam hoje a posição da mais admirada polpa de mercado. Elas estão crescendo em imbatíveis níveis de utilização e produção no mercado global. Elas podem ser usadas como únicas fibras na massa para a máquina de papel, ou em misturas com fibras longas, pastas de alto rendimento ou fibras recicladas. Entretanto, existem ainda muito boas oportunidades de otimizações e para ganhos

adicionais em sua utilização. Como uma recomendação simples, pense acerca dos seguintes pontos para reflexão:

- Gestão da habilidade de inchamento da massa à máquina de papel;
- Gestão dos finos (remoção ou adição em proporções controladas);
- Gestão das deformações das fibras (feitas por equipamentos especialmente construídos apenas para criá-las);
- Gestão das misturas de fibras (incorporando diferentes fibras com diferentes potenciais);
- Gestão do suprimento de madeira para a produção de polpa.

Esses tópicos logo serão apresentados em futuros capítulos de nosso **Eucalyptus Online Book**. Por favor, aguarde pelos próximos capítulos.

REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

Abitz, P.; Luner, P. **The relationship of wet fiber flexibility (WFF) to fiber and pulp properties**. Relatório ESPRA N° 94: Capítulo V. Syracuse. p. 67 – 87. (1991)

Alexander, S.D.; Marton, R.; McGovern, S.D. **Effect of beating and wet pressing on fiber and sheet properties. I. Individual fiber properties**. Tappi Journal 51(6): 277 – 283. (1968)

Bassa, A.; Bassa, A.G.M.C.; Sacon, V.M.; Valle, C.F. do **Seleção e caracterização de clones de eucalipto considerando parâmetros silviculturais, tecnológicos e de produto final**. II ICEP – Colóquio Internacional de Polpa Kraft de Eucalipto. Chile. 20 páginas. (2005)

Disponível em:

http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/Eventos/SII_1.pdf

Bertolucci, F.L.G.; Rezende, G.D.; Andrade, G.M.; Claudio-da-Silva Jr., E.; Penchel, R.M.; Demuner, B.J.; Santos, C.A.S. **Tree engineering at Aracruz Celulose – Present perspectives**. Anais da TAPPI Pulping/Process & Product Quality Conference. 9 páginas. (2000)

Sumário disponível em:

http://www.tappi.org/s_tappi/doc_bookstore.asp?CID=5157&DID=516665

Campos, E.S.; Martins, M. A .L.; Foelkel, C.E.B.; Frizzo, S.M.B. **Seleção de critérios para a especificação de pastas branqueadas de**

eucaliptos na fabricação de papéis para impressão offset. Ciência Florestal 10 (1): 57 – 75. (2000)

Carpim, M.A.; Barrichelo, L.E.G.; Claudio-da-Silva Jr., E.; Dias, R.L.V. **A influência do número de fibras por grama nas propriedades óticas do papel.** Trabalhos Técnicos do 20^o Congresso Anual ABTCP. São Paulo. p. 183 - 205. (1987)

Claudio-da-Silva Jr., E. **The flexibility of pulp fibers. A structural approach.** Anais da TAPPI International Paper Physics Conference: 13 – 25. (1983)

Clark, J. **Pulp technology and treatment for paper.** Segunda Edição. Miller Freeman Pub. 877 p. (1895)

Cotterill, P.; MacRae, S. **Improving eucalyptus pulp and paper quality using genetic selection and good organization.** TAPPI Journal 80(6): 82 – 89. (1997)

Cowan, W.F.; Cowan, J.; Foelkel, C. **Z-span testing of eucalyptus bleached pulps obtained by different bleaching sequences.** Trabalhos Técnicos do 35^o Congresso Anual ABTCP, São Paulo. 11 p. (2002)

Cowan, W.F.; Cowan, J.; Foelkel, C. **Z Spam testing for better papermaking quality pulp.** Apresentação em PowerPoint: 24 transparências. (2002)

Disponível em:

<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/Z-span%20for%20testing%20pulps.pdf>

Dadswell, H.E.; Wardrop, A.B. **Some aspects of wood anatomy in relation to pulping quality and to tree breeding.** Appita 13(5): 161 – 173. (1960)

Dean, G.H. **Objectives for wood fibre quality and uniformity.** "Eucalypt Plantations: Improving Fibre Yield and Quality". Proceedings CRCTHF - IUFRO Conference: 5-9. Hobart. (1995)

Disponível em:

http://members.forestry.crc.org.au/cgi-bin/doc.pl?doc_id=513

Demuner, B.D.; Vianna Doria, E.L.; Claudio-da-Silva J., E.; Manfredi, V. **The influence of eucalypt fiber characteristics on paper properties.** Anais da TAPPI International Paper Physics Conference: 185 – 196. (1991)

Demuner, B.D.; Vianna Doria, E.L.; Claudio-da-Silva J., E.; Manfredi, V. **As propriedades do papel e as características das fibras de eucalipto**. Trabalhos Técnicos do 24^o Congresso Anual ABTCP. São Paulo. p.621 - 641. (1991)

Dinus, R.J.; Welt, T. **Tailoring fiber properties to paper manufacture: recent developments**. Anais da TAPPI Pulping Conference: 815 – 828. (1995)

Dinwoodie, J.M. **The relationship between fiber morphology and paper properties: a review of literature**. Tappi Journal 48(8): 440 – 447. (1965)

Faez, M. **Celulose para papel tissue – Uma ferramenta para desenvolvimento da floresta ao produto final**. Seminário Internacional sobre Papéis Tissue. ABTCP. Apresentação em PowerPoint: 26 transparências. (2005)

Foelkel, C. **Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel**. Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos. 11 páginas. (1997)

Disponível em:

<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/32%20final.doc>

Foelkel, C. **Eucalypt wood and pulp quality requirements oriented to the manufacture of tissue and printing & writing papers**. Anais da 52^a Appita Conference, Brisbane, Austrália (1): 149 – 154. (1998)

Disponível em:

<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/34%20final.doc>

Foelkel, C. **Fibras e polpas**. Apresentação em PowerPoint: 30 transparências. (2004).

Disponível em:

<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/Fibras%20e%20polpas.pdf>

Foelkel, C. **Differentiation in market pulp products: is market pulp a commodity product?** Apresentação em PowerPoint: 74 transparências. (2005).

Disponível em:

<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/Differentiation%20in%20pulps.pdf>

Foelkel, C. **Advances in eucalyptus fiber properties and paper products**. III ICEP – Colóquio Internacional de Polpa Kraft de Eucalipto. Brasil. 6 pp. (2007)

Disponível em:

<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Advances%20in%20euca%20fiber.pdf>

Foelkel, C.E.B.; Barrichelo, L.E.G. **Relações entre características da madeira e propriedades da celulose e papel.** Trabalhos Técnicos do 8º Congresso Anual da ABCP. São Paulo. p.40 - 53. (1975)

Fonseca, M.J.O. **Efeito do cozimento e branqueamento para produção de tissue.** Seminário Tecnologia em Papéis Tissue - Inovações na Cadeia Produtiva. ABTCP Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 11 transparências. (2002)

Fonseca, M.J.O. **Propriedades da celulose para tissue.** ABTCP / SENAI Expocelpa Sul. Apresentação em PowerPoint: 25 transparências. (2006)

Fonseca, S.M.; Oliveira, R.C.; Silveira, P.N. **Seleção da árvore industrial.** Revista Árvore 20(1): 69 - 85. 1996.

Gatari, J.W. **An experimental analysis of the zero and short span tensile tests.** Chalmers University of Technology, Sweden, Tese de Mestrado. 36 p. (2003)

Disponível em:

http://www.md.chalmers.se/EM-Masters/theses/archive/pdf/thesis_joan.pdf

Gonçalves, C. **Fibra de eucalipto para papel tisú.** El Papel. Novembro: 42 - 47. (2001)

Institute of Paper Chemistry. **Characterization of pulps for papermaking. A comparison of some fiber measurement techniques.** Relatório de Projeto Nº 2406. 58 páginas. (1966)

Joutsimo, O.; Wathém, R. ; Tamminen, T. **Effects of fiber deformations on pulp sheet properties and fiber strength.** Helsinki University of Technology. 16 páginas. (2004)

Disponível em:

<http://lib.tkk.fi/Diss/2004/isbn9512274450/article5.pdf>

Kibblewhite, R.P. **Effects of beating, beaters, and wood quality on the wet web strength.** New Zealand Journal of Forestry Science 5(1): 110 – 118. (1975)

Kibblewhite, R.P. **Product-driven eucalypt fiber selection for papermaking.** II ICEP - Colóquio Internacional de Polpa Kraft de Eucalipto. Chile. Apresentação em PowerPoint: 64 transparências. (2005)

Disponível em:

http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/Eventos/SI_6.pdf

Kibblewhite, R.P.; Bawden, A.A.; Hughes, M.C. **Hardwood market kraft fiber and pulp qualities**. Appita 44(5): 325 – 332. (1991)

Lehtonen, J. **Influence of commercial hardwood fibers from different production regions on wood free paper properties**. Faserstoff Pulp Technology Symposium. Apresentação em PowerPoint: 15 transparências. (2005).

Disponível em:

http://www.glozell.fi/Lehtonen%20Presentation%20FS_503_Brfl.pdf

Lehtonen, J. **Innovation in papermaking furnish and impact on the future use of various pulp fibres**. PTS Munich, GloCell Oy. Apresentação em PowerPoint: 39 transparências. (2005)

Disponível em:

http://www.glozell.fi/Lehtonen_presentation_print.pdf

Lowe, R.; Ragauskas, A.J. **The deformation behavior of wet lignocellulosic fibers**. Institute of Paper Science and Technology / Georgia Institute of Technology. Apresentação em PowerPoint: 42 transparências. (sem referência de data)

Disponível em:

http://ipst.gatech.edu/faculty_new/faculty_bios/ragauskas/posters/wet%20fiber%20deformability.pdf

Lundqvist, S.O.; Grahn, T.; Hedenberg, O.; Hansen, P. **Visions and tools for forest and mill integration. Part 2: Some new approaches under development at STFI for prediction of paper properties**. Eurofiber Seminar, STFI. Apresentação em PowerPoint: 31 slides. (2003).

Disponível em:

http://www.stfi.se/upload/3439/02_d14-3_stfi-lundqvist2_Part%202x.pdf

Luner, P. **Wet fiber flexibility as an index of pulp and paper properties**. PIRA International Conference on Advances in Refining Technologies. Vol 1: 24 páginas. (1986)

McNinch, D.; Shariff, A. **Specialty pulps and specialty papers**. Intertech Specialty Papers Conference, Montreal. Apresentação em PowerPoint: 70 transparências. (2001)

Milanez, A.F. **Relações qualidade x efeito: floresta de eucaliptos x celulose x papéis P&W e tissue**. I Seminário sobre Celulose e Papel. Universidade Federal de Viçosa. Apresentação em PowerPoint: 23 transparências. (2004)

Milanez, A.F. **Fibras celulósicas para papéis tissue.** III ICEP – Colóquio Internacional de Polpa Kraft de Eucalipto. Brasil. Apresentação em PowerPoint: 17 transparências. (2007)

Milanez, A.F.; Barth, P.P.O.; Pinho, N.C.; Vesz, J.B.V. **Influência das hemiceluloses nas propriedades óticas e físico-mecânicas da polpa.** Trabalhos Técnicos do 15º Congresso Anual da ABCP. 16 páginas. (1982)

Mohlin, U.B.; Burman, A.; Soetanto, S. **How fiber dimensions influence refining response and paper properties using acacia and eucalypts as examples.** TAPPI Engineering, Pulping & Environmental Conference. Apresentação em PowerPoint: 27 transparências. (2006)

Nishihata, R.T. **Perspectiva do projeto Genoma e sua importância para a qualidade do papel tissue.** Seminário Tecnologia em Papéis Tissue- Inovações na Cadeia Produtiva. ABTCP Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 25 transparências. (2002)

Noe, P.; Demuner, B. **A fibra do eucalipto: uma fibra muito especial.** Aracruz Celulose website. (Acesso em março de 2007)
Disponível em:
http://www.aracruz.com.br/show_prd.do?act=stcNews&menu=true&lastRoot=16&id=124&lang=1

Paavilainen, L. **Influence of morphological properties of softwood fibres on sulphate pulp fibre and paper properties.** Anais da TAPPI International Paper Physics Conference: 383 - 388. (1991)

Paavilainen, L.; Luner, P. **Wet fiber flexibility as a predictor of sheet properties.** Relatório ESPRA Nº 84: Capítulo IX. Syracuse. p. 151 - 172 . (1986)

Palmeiras, L.P.S.; Colodette, J.L.; Magaton, A.S. **Análise comparativa entre vários métodos de quantificação de hemiceluloses de madeira de eucalipto.** III ICEP - Colóquio Internacional de Polpa Kraft de Eucalipto. Brasil. Sessão de poster. 3 páginas. (2007)

PAPRICAN . **Microscopy.** Apresentação em PowerPoint: 41 transparências. (sem referência de data)

Portucel/Soporcel. **The role of eucalyptus fibers in office papers.** ATIP France. Apresentação em PowerPoint: 41 transparências. (2003)

Queiroz, S.C.S. **Efeito das características anatômicas e químicas na densidade básica da madeira e na qualidade da polpa de *Eucalyptus***. Universidade Federal de Viçosa. Dissertação de mestrado. 65 páginas e 7 anexos. (2002)

Ratnieks, E. ; Foelkel, C. **Uma discussão teórico-prática sobre polpas de eucalipto para a fabricação de papel tissue**. Trabalhos Técnicos do 29º Congresso Anual da ABTCP. São Paulo. Brasil. p. 717 – 734. (1996)

Raymond, C. A. **Genetics of *Eucalyptus* wood properties**. Annals of Forest Science 59: 525 – 531. (2002)

Santos, C.R. **Qualidade da madeira e sua influência nas características de papéis de imprimir & escrever e tissue**. Universidade Federal de Viçosa. 45 páginas. (2002)

Santos, E.; Schulz, H.; Figueiredo, M. **Papermaking potential of hardwood pulps for decorative paper: a comparative study**. TAPPI Journal 4(8): 20 - 24 . (2005)

Santos, S.R. **Influência da qualidade da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. ESALQ/USP. 178 páginas. (2005)

Steadman, R.; Luner, P. **An improved test to measure the wet flexibility of pulp fibers**. Relatório ESPRA: Capítulo V. Syracuse. p. 69 – 85 (sem referência de data)

Steadman, R.; Luner, P. **The effect of wet fibre flexibility on sheet apparent density**. Transactions of the 8th Fundamental Research Symposium. Oxford. Vol 1: 311 – 337. (1985)

Tikka, P. **Pulp quality – not only chemistry**. III ICEP - Colóquio Internacional de Polpa Kraft de Eucalipto. Brasil. Apresentação em PowerPoint: 32 transparências. (2007)

Disponível em:

<http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/Eventos/430/1TikkaOral.pdf>

Wardrop, A.B. **Fundamental studies in wood and fibre structure relating to pulping processes**. Appita 16(3): xv – xxx. (1962)

Wardrop, A.B. **Morphological factors involved in the pulping and beating of wood fibres.** Svensk Papperstidning 65: 17 páginas. (1963)

Wardrop, A.B. **Fiber morphology and papermaking.** Tappi Journal 52(3): 396 – 408. (1969)

Wathém, R. **Studies on fiber strength and its effect on paper properties.** Dissertação de Ph.D.. Helsinki University of Technology. KCL Communication Report. 98 páginas. (2006)

Disponível em:

<http://lib.tkk.fi/Diss/2006/isbn9512285258/isbn9512285258.pdf>