

Interações dos Efeitos da Ação do Refino e da Reciclagem nas Propriedades de Papéis de *Pinus* e *Eucalipto*.

Rogério Peixoto Silva¹
Rubens Chaves de Oliveira¹

¹Universidade Federal de Viçosa - Viçosa-MG

RESUMO

A reciclagem de papéis é uma solução racional para os diversos problemas que venham a acontecer tanto para a questão ambiental quanto econômica do setor de celulose e papel. Este estudo contribui para o desenvolvimento de técnicas mais adequadas na atividade de reciclagem. Os resultados nos mostraram que o refino é um artifício para recuperação das propriedades do papel muito eficiente, recuperando a maioria das potencialidades perdidas pela fibra no processo de reciclo. É preciso no entanto aplicar a intensidade correta de refinação para que as fibras não sejam prejudicadas pelo excesso, o que pode acarretar em perdas significativas na qualidade final do produto. Além disso, modificações químicas acontecem nos carboidratos devido ao processo de reciclagem. Quedas significativas no teor de Hemicelulose da polpa que contribui para a perda do potencial papelero das fibras secundárias. De um modo geral as fibras de eucalipto demonstraram ser mais adequadas à reciclagem que as fibras de pinus, já que foram menos prejudicadas pelo processo e respondem melhor ao refino para recuperação de suas potencialidades.

Palavras Chave: Reciclagem, Refino, Propriedades físico-mecânicas.

1. INTRODUÇÃO

A reciclagem de papéis é uma atividade que vem ao longo dos anos atingindo importância mundial tanto no aspecto econômico quanto ecológico. A necessidade de se utilizar matérias primas alternativas e mais baratas além da problemática de descarte do lixo têm dado oportunidade à intensificação do uso de materiais recicláveis.

O Brasil é um país que trabalha com reciclagem há um bom tempo e já atingiu um certo desenvolvimento no setor, tendo em vista as oportunidades do mercado interno e as possibilidades cada vez maiores de expandir seus negócios em nível internacional.

No Brasil, a composição média de papéis no lixo entre os materiais recicláveis é de 41% em relação a outros materiais. Estima-se que o país recicla hoje cerca de 38% de todo papel que usa, chegando próximo a média mundial em países mais desenvolvidos no setor que já chega a atingir cerca de 45%. O aumento rápido da utilização de fibras recicladas para uma demanda cada vez maior de papel tem estimulado muito o desenvolvimento de processos para melhorar a qualidade de fibras secundárias. Enquanto o consumo de fibras secundárias para utilização na indústria papelera cresceu 6.3 % no último ano, a utilização de fibras virgens atingiu um crescimento de 3.0% (BRACELPA 1997; NEVES e BLANCO 1996)

Apesar de ser uma atividade promissora, existem problemas técnicos e tecnológicos com o produto ao final do processo, que exigem pesquisas intensivas para desenvolver soluções viáveis a estes fatos. Estamos nos referindo a perda na qualidade e propriedades finais do papel reciclado em relação ao produto original. Em decorrência destas alterações, existem limitações na possibilidade de se reciclar a fibra de celulose devido a redução de sua qualidade nos processos sucessivos de reciclagem.

Para contornar esses problemas a indústria papelera já dispõem de vários artifícios como o refino, a adição de fibras virgens e aplicação de aditivos. Todos eles complementam a necessidade de ligação entre as fibras que foram perdidas no processo de reciclagem.

A capacidade de ligação entre fibras secundárias é inferior, e normalmente compensada como uso de aditivos químicos, por exemplo o amido, que melhora o poder de ligação dos componentes da folha de papel, além também de reforçar sua estrutura. A refinação é outro método comum usado para aumentar a capacidade de ligação total das fibras, e é normalmente aplicada às aparas cujo produto final não atinge as especificações necessárias ao fim a que se destina.

O efeito prejudicial da reciclagem pode ser superado por refinação, mas somente até certo ponto, além do qual a refinação passa a ter um efeito negativo (MC.COMB e WILLIAMS 1981; OLIVEIRA e SABIONI 1998). Desta forma reconhecemos a necessidade de se estudar o efeito do refino nas fibras recicladas de modo a desenvolver uma melhoria na qualidade desses produtos e obter subsídios que nos permitam controlar melhor esse artifício tão importante para a recuperação das propriedades em papéis reciclados.

2. EFEITOS DA RECICLAGEM

As características iniciais das fibras exercem funções importantes na resistência do papel, e durante o processo de fabricação do papel inúmeras mudanças ocorrem até o produto final acabado. Uma inter-relação entre características físicas e químicas da fibra nos trás respostas a respeito de várias mudanças que acontecem no processo de reciclagem. As mudanças nas características das fibras tendem a ser irreversíveis e reduzem o potencial papeleiro das fibras secundárias, a menos que se utilizem de artifícios para que a formação do papel melhor se restabeleça .

Os efeitos da reciclagem em papéis tem sido alvo de várias pesquisas. ELLIS e SEDLACHEK (1994) relatam que as fibras quando retornam ao processo de fabricação do papel, ou seja, são recicladas, estão sujeitas a um número de operações unitárias que modificam suas propriedades diminuindo a qualidade produto final. Observa-se que as operações de polpação, branqueamento, destintamento, drenagem e secagem que, impactam as propriedades das fibras, causam mudanças nas dimensões, na morfologia e na distribuição das mesmas quando na formação do papel.

Uma etapa de todo o processo em especial, a secagem, contribui em grande parte para estas modificações. É consenso que o efeito da secagem age na perda da capacidade de inchamento das fibras, na flexibilidade e plasticidade , tornando-se irreversível de acordo com a drasticidade e intensidade desta etapa do processo.

A secagem influencia profundamente na morfologia das fibras, devido ao colapso irreversível que conduz a defeitos na sua estrutura gerando potenciais porções cristalinas ao longo do polímero de celulose. CLARK, citado por MOUSA e PASZNER (1994) em uma revisão de literatura a cerca dos motivos da perda da força de ligações das fibras secundárias relata que no processo da secagem, superfícies de celulose e hemicelulose antes separadas, ou até mesmo coladas por ligações fracas podem se ligar irreversivelmente uma as outras através de fortes ligações de hidrogênio. Estas áreas então se orientam de tal maneira que formam regiões cristalinas reduzindo a capacidade de intumescência da fibra, diminuindo as ligações entre elas, o que normalmente torna o papel reciclado mais fraco.

Uma maior parte cristalina restringe a flexibilidade; Quanto maior a superfície de enrrigecimento menor será a superfície capaz de entrelaçamento entre as fibras, e sabe-se que um bom entrelaçamento é fundamental para uma boa estruturação do papel. Esse enrrigecimento irreversível, chamado de hornificação é então responsável pelo maior problema na atividade de reciclagem de papéis.

Além do aparecimento de regiões cristalinas na fibra, Thode e colaboradores (1955), citado por MOUSA e PASZNER (1994), atribuem a perda na capacidade de inchamento ao fechamento e perda dos poros na parede das fibras de celulose após a secagem.

Apesar de haver desestruturações na fibra com o processo de reciclagem, pode-se contornar esse problema usando-se a refinação como solução. Quando se efetua a moagem ocorre quebra de ligações internas, fibrilação e corte das fibras, modificando a superfície tornando-a mais flexível sobrepondo o efeito da cristalinidade e fechamento dos poros. Foi através deste artifício que procuramos verificar neste trabalho a interação do refino nos vários ciclos de reciclagem para a recuperação das potencialidades do papel.

3. OBJETIVO

Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos gerais da reciclagem em papéis de fibras longas e fibras curtas comparando sua susceptibilidade ao processo, além de envolver os efeitos do refino como artifício de recuperação das propriedades perdidas em cada ciclo de reciclagem. Com isso obteremos subsídios que nos permitirão aplicar melhor esse recurso tão importante na reciclagem de papéis e otimizar o processo que envolve sua ação.

4. MATERIAIS E METODOLOGIA APLICADA

Os materiais utilizados neste estudo constituem-se de polpa industrial de Eucalipto branqueada por seqüência ECF e de polpa industrial de Pinus porém não branqueada, de número KAPPA 25.

4.1 PREPARAÇÃO DA POLPA

A polpa industrial obtida em folhas comerciais de celulose foram primeiramente hidratadas por cerca de 4 horas em quantidade suficiente para se fazer todos os tratamentos determinados. Depois de hidratadas foram desaguadas, armazenadas em sacos plásticos e acondicionadas em refrigeradores. A polpa, em quantidade suficiente para a realização da pesquisa, foi refinada à um grau de refino de 40°SR em moinho do tipo PFI ao nível de consistência de 10% com o objetivo de obter papéis a serem reciclados.

4.2 FORMAÇÃO DE FOLHAS PARA OS TESTES FÍSICO-MECÂNICOS.

As folhas foram formadas em formador tipo Tappi, com aproximadamente 60 g/m², de acordo com a norma TAPPI 205 om-81. Foram acondicionadas em ambiente climatizado com temperatura de 23 ± 1°C e umidade relativa do ar de 50 ± 2% para realização dos testes físico-mecânicos e ópticos. Uma quantidade suficiente de papel, tanto de pinus quanto de eucalipto, foi produzida de tal forma que uma parte deste papel foi utilizado para a realização dos testes físico-mecânicos, teor de α , β e γ celulose e viscosidade; e a outra parte re-hidratada, desintegrada em polpeador laboratorial e utilizada novamente para formação de novas folhas de papel, completando o primeiro ciclo de reciclagem. O mesmo procedimento foi feito para a complementação dos ciclos subsequentes. Um total de 4 ciclos foram realizados completando o procedimento de reciclagem. O número de quatro ciclos foi escolhido devido ao fato de que as maiores perdas de propriedades ocorrem dentro dos primeiros ciclos, com tendência à estabilização após o quarto ciclo, sendo que após a realização de cada ciclo, a polpa foi submetida a 3 níveis de refino pré-determinados com o objetivo de recuperar as propriedades perdidas.

4.3 REFINO

A polpa foi refinada em moinho laboratorial do tipo PFI onde a intensidade de refino aplicado à polpa foi avaliado em graus Schopper-Riegler (°SR), de acordo com a norma TAPPI T 248 cm-85 que indica a drenabilidade de água na formação das folhas. Antes do refino, a polpa foi desagregada por 4000 rotações em desagregador laboratorial tipo Regmed. Posteriormente formou-se uma manta com consistência de 10% (peso da manta 300g = 30g polpa a.s + 270g de água) para realização do refino.

Os níveis de refino aplicados foram previamente estudados de modo a atingirmos um mínimo de revolução, suficiente, para recuperarmos a propriedade em estudo. Os níveis intermediários foram menos intensos e proporcionais entre si.

4.3 TESTES FÍSICO-MECÂNICOS DAS POLPAS

Os testes e análises aplicados a cada tratamento seguiram suas respectivas normas conforme segue abaixo no quadro 1.

Quadro 1: Testes físicos mecânicos e ópticos realizados nos papéis de Pinus e Eucalipto.

TESTES	NORMAS
α, β, γ celulose	TAPPI T 203 om-93
Gramatura	TAPPI T 410 om-93
Espessura	TAPPI T 411 om-89
Índice de Rasgo	TAPPI T 414 om-88
Índice de Arrebatamento	TAPPI T 403 om-91
Índice de Tração*, Módulo de Elasticidade Específico, Alongamento e Energia de Deformação	TAPPI T 494 om-88
Alvura **	TAPPI T 452 om-92
Opacidade e Coeficiente de Dispersão de Luz	TAPPI T 519 om-96
Resistência a Passagem de Ar	TAPPI T 536 om-96
Maciez Gurley	ABCP p 35/94
Lisura Gurley	ABCP p 35/94

* Realizado no aparelho Instron modelo 4204 com sistema computadorizado de aquisição, análise e saída de dados, com distância entre garras de 100 mm, velocidade de teste de 25 mm/minuto e capacidade da célula de carga de 1000 N. Simultaneamente, este teste nos fornece as seguintes informações: força, tensão e deformação ao limite de proporcionalidade, energia de deformação (TEA), e módulo de elasticidade específico.

** Teste realizado no aparelho Datacolor E2000.

A polpa de Pinus não foi submetida aos testes de viscosidade já que os resultados obtidos com o papel de eucalipto não apresentou diferenças significativas durante o processo experimental. Pelo fato desta propriedade apresentar variáveis semelhantes à polpa de eucalipto entendemos que não seria necessário realiza-los.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de comportamento das polpas de pinus e de eucalipto referentes ao impacto da reciclagem nos mostram uma perda nas características do papel reciclado em relação ao produto original, sendo que as maiores perdas acontecem logo ao primeiro e segundo ciclo, com maior drasticidade no primeiro reciclo. Esse efeito mais intenso no primeiro ciclo também foi observado por BUGAJER (1976) e CHAVES e SABIONI (1998), que atribuem uma maior transformação nas estruturas da fibra nesta fase, sendo que a partir daí a irreversibilidade estrutural decorrente principalmente do processo de secagem toma as demais transformações menos intensa.

O tratamento de refino foi aplicado em intensidade distintas para cada espécie. A polpa de pinus precisou de 7000 revoluções (89 Wh. de energia específica). Já o de eucalipto o consumo foi menor, 38 Wh., correspondentes a 3000 evoluções no PFI, necessário para recuperação das propriedades.

A tendência dos resultados indicam que perda nas propriedades do papel são menos intensas a cada ciclo consecutivo de reciclagem, ao contrário do efeito do refino, que se destaca com mais intensidade na recuperação das potencialidades perdidas ao 3º e 4º ciclo.

Os resultados obtidos são apresentados, para melhor visualização, em forma de gráficos o que permite ter um melhor entendimento das tendências que seguem cada uma das análises.

Algumas das propriedades de ocorrência mais usual para a indústria papelreira são discutidas a seguir conforme o modo em que foram avaliadas no regime de reciclagem e refino para recuperação das mesmas.

5.1 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO:

A resistência à tração neste estudo é expressa pelo índice de tração calculado pela relação matemática da força máxima necessária para causar ruptura do corpo de prova e a gramatura da amostra. As ligações interfibrilares ocorrida na formação do papel são bases para se discutir essa propriedade. Em geral houve uma queda significativa de 43% para o

eucalipto em relação ao produto inicial, reforçando a idéia de que a reciclagem diminui o potencial de ligação entre as fibras. Para o pinus a redução foi de 54%, uma perda mais intensa que polpa de eucalipto. (Figura 1)

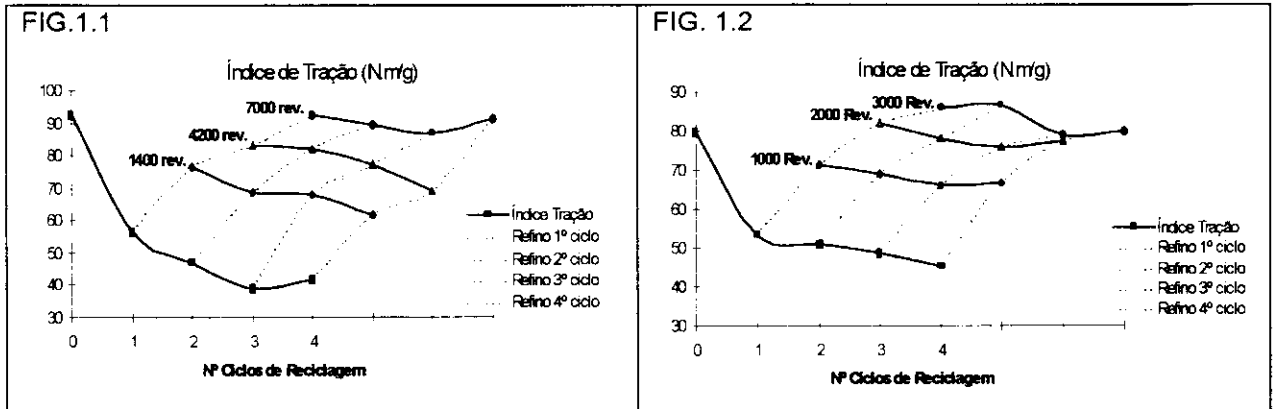


FIGURA 1: Índice de Tração em função dos ciclos de reciclagem com aplicação de refino em cada ciclo para recuperação da propriedade. (Fig. 1.1- Pinus ; Fig. 1.2- Eucalipto).

O refino recuperou as propriedades iniciais em níveis aceitáveis, já que as delaminações superficiais favoreceram o aparecimento de novas superfícies de contato além de restabelecer a capacidade de formar ligações hidrogênio. De uma maneira geral houve uma melhor resposta ao refino no 4º ciclo, mostrando que o enriquecimento progressivo das fibras causadas pelas sucessivas secagens provavelmente tornou-as mais frágeis e susceptíveis a ação das lâminas do refinador. As fibras de pinus, como na maioria dos testes, necessitaram de uma maior energia de refino para atingir os valores iniciais, da polpa virgem.

5.2 RESISTÊNCIA AO ARREBENTAMENTO:

A resistência ao arrebentamento é definida como a pressão necessária para produzir o arrebentamento do material, ao se aplicar uma pressão uniformemente crescente, transmitida por um diafragma elástico, de área circular, igual 962 mm². Polpas com menores teores de finos e maior comprimento de fibras em geral geram papéis com maior resistência ao arrebentamento, devido a presença de maior número de ligações do tipo β 1-4, que possuem maior energia de ligação que as ligações do tipo pontes de hidrogênio, esse último abundantes em polpas com maior teor de finos, e fibras de menor comprimento, mais facilmente rompidas quando lhe são aplicadas uma força (KWEI, JACQUES, QUAN 1996)

Devido a importância do comprimento da fibra na resistência ao arrebentamento, papéis formados com fibras longas, as quais em geral são mais flexíveis, sofrem um impacto maior nesta propriedade quando estas sofrem algum tipo de modificação proveniente da reciclagem e do refino. De fato isso foi verificado, enquanto papéis de pinus sofreram uma queda de 56%, os de polpa de eucalipto apresentaram uma menor perda, 43% (Figura 2).

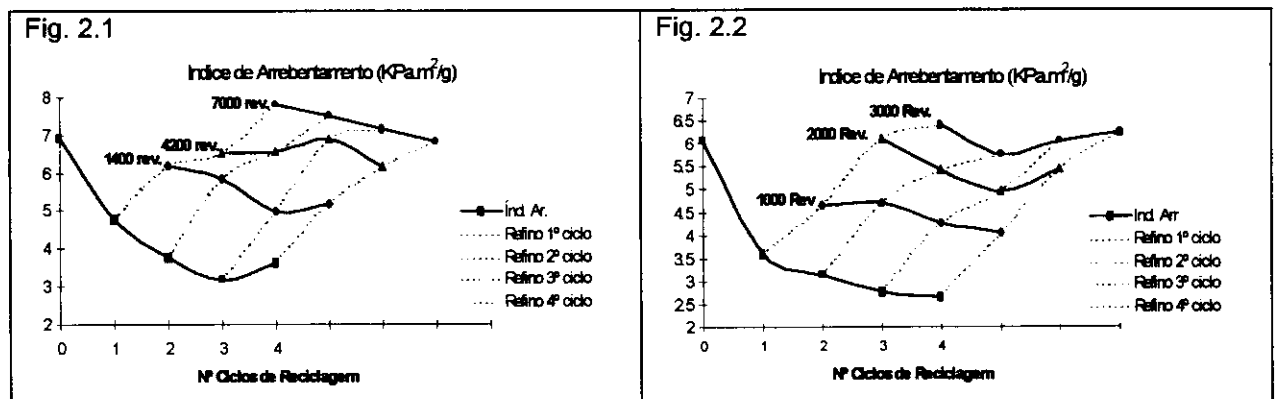


FIGURA 2: Índice de Arrebentamento em função dos ciclos de reciclagem com aplicação de refino em cada ciclo para recuperação da propriedade. (Fig. 2.1- Pinus ;Fig. 2.2- Eucalipto).

5.3 MÓDULO DE ELASTICIDADE ESPECÍFICO:

Módulo de elasticidade específico, expressa a capacidade de um material resistir à deformação, quando submetido a um esforço, a cada variação crescente de carga aplicada por unidade de massa específica do material e é derivada da inclinação da seção linear elástica da curva de tensão versus deformação que neste estudo foi obtida em regime de tração. Em outras palavras, maiores valores de módulo de elasticidade específico, indicam a capacidade do material em absorver carga sem, contudo, sofrer deformações substanciais, o que indica o seu potencial de rigidez.

Em 1979, PAGE et ali., descreve que os principais fatores que influenciam o módulo de elasticidade do papel, além do número de ligações é a rigidez das fibras que no papel formado levam a um maior módulo de elasticidade já que se alongam menos, logo resistem mais às deformações quando sob a aplicação de uma força.

Em nossos resultados obtivemos uma redução de 29% para os papéis de eucalipto em comparação aos 38% obtidos nas folhas de pinus(Figura 3), mostrando que uma maior fração parede das fibras de eucalipto quando submetidas a secagem tendem a um maior enrrigecimento resistindo mais a carga aplicada. Contudo as fibras de pinus, por serem menos rígidas, são mais susceptíveis a perda de sua propriedade, já que se deformam mais. Isto vem a confirmar que a reciclagem tende a gerar um endurecimento nas fibras, devido principalmente a operação de secagem.

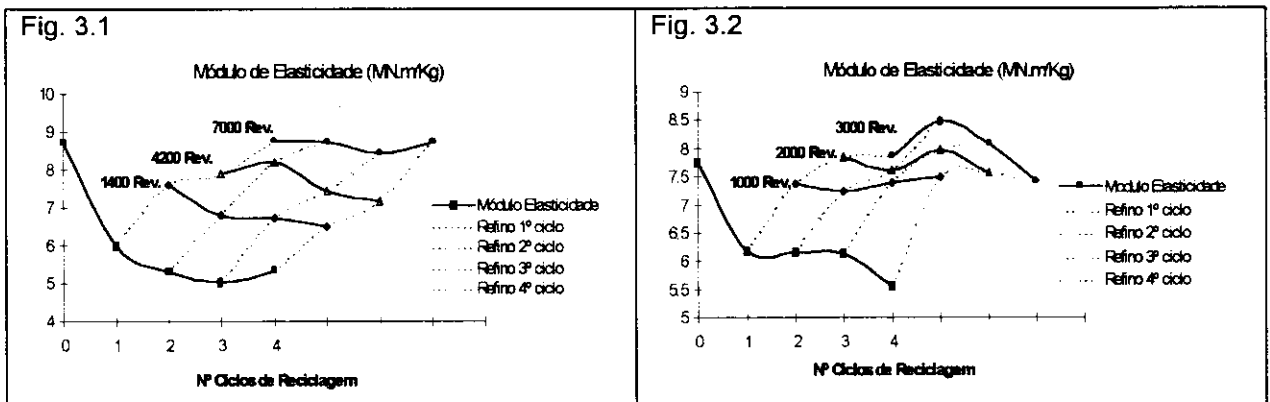


FIGURA 3: Módulo de Elasticidade Específico em função dos ciclos de reciclagem com aplicação de refino em cada ciclo para recuperação da propriedade. (Fig. 3.1- Pinus ; Fig. 3.2- Eucalipto).

5.4 RESISTÊNCIA AO RASGO:

A resistência ao rasgo é por definição o trabalho executado por um pendulum, necessário para rasgar um conjunto de folhas, após um corte de rasgo inicialmente realizada nas amostras. A força necessária para rasgar a amostra sob condição de teste, é obtida da divisão do valor do trabalho executado pela distância total de rasgo na qual a força é aplicada. Neste estudo, a resistência ao rasgo é expressa na forma de índice de rasgo, o qual é o resultado da divisão da força média necessária para rasgar uma folha, pela gramatura da amostra.

Como já relatado por D'ALMEIDA (1988), o comprimento de fibra é uma dimensão importante no desenvolvimento de resistência ao rasgo. Cita também que resistência intrínseca das fibras relacionadas à espessura de parede celular se mostra influente no desenvolvimento de resistência ao rasgo sendo estas características mais significativas em fibras longas.

Na figura 4.2, observamos que com a reciclagem o índice de rasgo decresce. Isto se explica pelo fato de as ligações entre as fibras, mais relevante em papéis de fibras curtas, terem sido comprometidas pelo enrrigecimento causado na secagem. Com o refino aplicado, a capacidade de ligação entre elas foi melhorada, elevando novamente o índice de rasgo.

Já em fibras longas o comportamento se mostra o inverso. Pela figura 4.1 observamos que houve um ganho substancial na resistência ao rasgo até o segundo ciclo de reciclagem, tendendo a manter-se nos ciclos subsequentes. Este comportamento foi observado em fibras longas por ALFREDO E SAYURI (1997) que consideraram um efeito bem mais marcante que em outras misturas de fibras usadas em seus ensaios.

Sendo a resistência individual da fibra bem como suas ligações intrínsecas e seu comprimento mais relevantes para fibras longas, o fenômeno de homificação contribuiu para um ganho elevado no índice de rasgo. Ao refinarmos a fibra longa, verificamos uma redução do rasgo mais intensa a cada ciclo sucessivo de reciclagem. Se gradualmente a fibra se torna menos flexível e mais rígida, ela poderá estar cada vez mais frágil à ação das lâminas do refinador e mais susceptível a diminuição de seu comprimento, portanto a sua maior tendência de queda na resistência ao rasgo com a refinação.

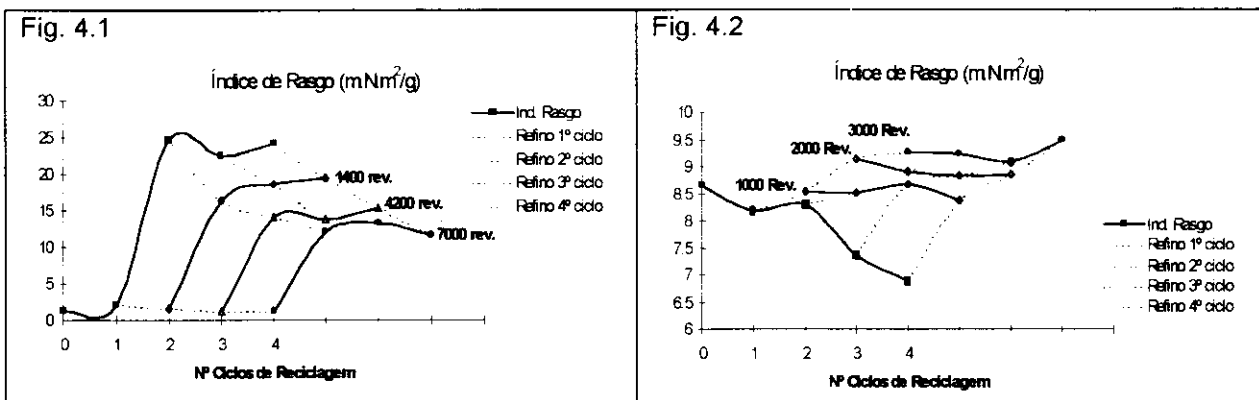


FIGURA 4: Índice de Rasgo em função dos ciclos de reciclagem com aplicação de refino em cada ciclo para recuperação da propriedade. (Fig. 4.1- Pinus ; Fig. 4.2- Eucalypto).

5.5 ENERGIA DE DEFORMAÇÃO (TEA):

A energia de deformação expressa o trabalho realizado por uma amostra de papel quando submetida a esforços de tração até a sua ruptura total. Indica a habilidade em absorver energia sob condições de aplicações crescentes de carga. Esta propriedade é muito dependente das características de formação e do potencial de conformabilidade das fibras na folha de papel, o que torna as características morfológicas de fibras de grande importância para o desenvolvimento desta propriedade, principalmente comprimento de fibra, espessura de parede celular e diâmetro de lúmen.

Dentre as características morfológicas de fibras, o diâmetro de lúmen tem maior influência no potencial de conformabilidade e colapsabilidade das fibras durante a formação do papel, contudo fibras mais longas, são em geral, mais flexíveis o que aumenta o potencial de colapsabilidade na formação do papel. Fibras com maior fração parede, com a ação do refino podem sofrer maior efeito de desfibrilamento aumentando o potencial de ligações interfibras, o que pode favorecer a absorção de energia quando da aplicação de uma força de tração.

Tanto o pinus quanto o eucalypto obtiveram uma variação de sua propriedade inicial em torno de 67% do valor inicial. A Figura 5 mostra mais claramente que as duas espécies responderam de maneira similar ao reciclo e ao refino, provavelmente devido ao fato de a morfologia das fibras favorecerem as características eminentes em ambos os tipos de fibras para esta propriedade.

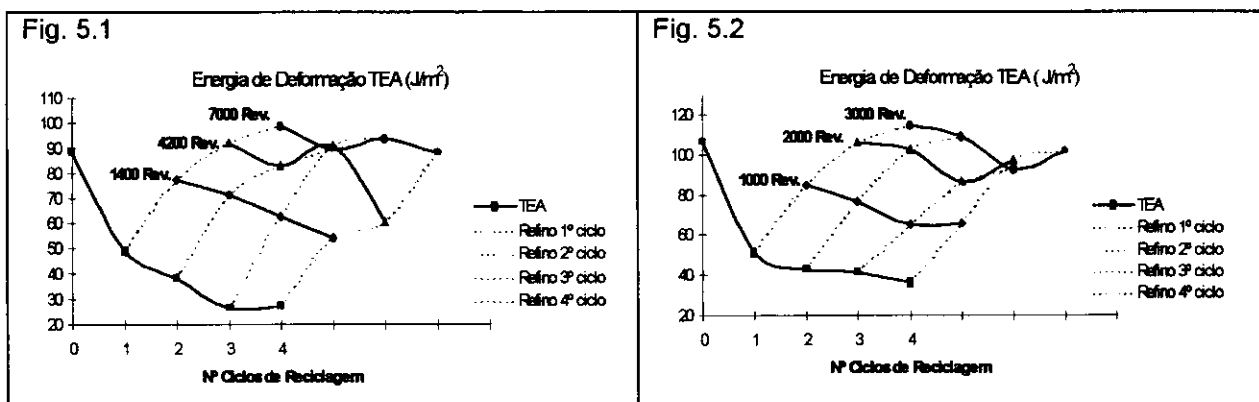


FIGURA 5: Energia de Deformação em função dos ciclos de reciclagem com aplicação de refino em cada ciclo para recuperação da propriedade. (Fig. 5.1- Pinus ; Fig. 5.2- Eucalypto).

5.6 RESISTÊNCIA À PASSAGEM DE AR (RPA):

Representa a dificuldade em que um determinado volume de ar passa por uma folha de papel e é dependente do número, tamanho, forma e distribuição dos poros no material.

Com a perda na habilidade de se ligar entre si, as fibras não se distribuem de maneira uniforme e condensada na formação do papel, com isso são gerados espaços vazios reduzindo consideravelmente a resistência a passagem do ar.

Verificamos que apesar de quedas significativas (Figura. 6) a ação do refino age de modo eficiente no desenvolvimento de ligações interfibrilares refletindo no incremento desta propriedade. É fácil observar também o potencial e sensibilidade à resposta das fibras secundárias ao refino. Porém, a medida que se tornam mais rígidas e quebradiças, as fibras quando recebem um tratamento mecânico mais intenso tendem a ser mais danificadas, comprometendo a boa estruturação do papel.

Pode-se verificar também que o desenvolvimento do refino foi favorecido para os papéis obtidos de eucalipto que necessitou de uma menor energia na refinação, refletindo na formação de estruturas menos porosas em folhas de papel.

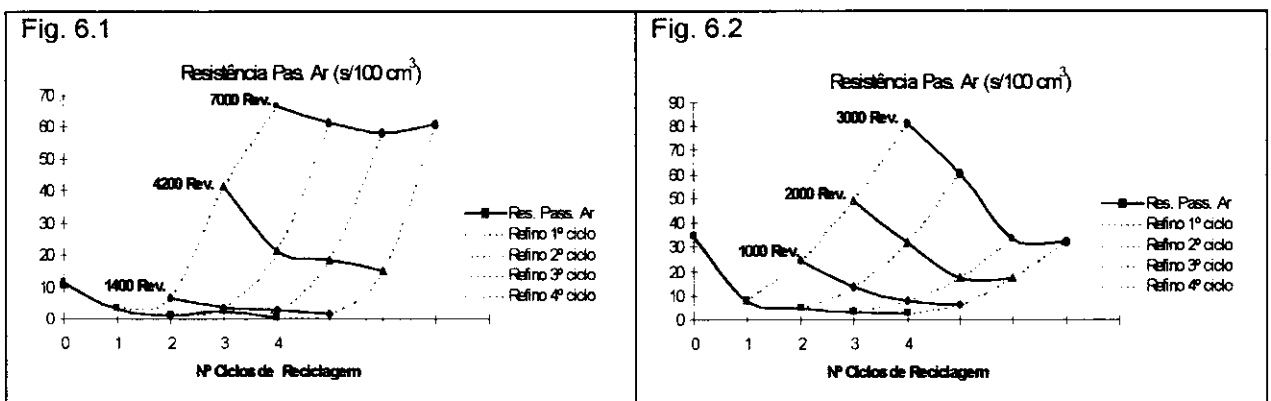


FIGURA 6: Resistência à Passagem Ar em função dos ciclos de reciclagem com aplicação de refino em cada ciclo para recuperação da propriedade. (Fig. 6.1- Pinus ; Fig. 6.2- Eucalipto).

5.7 OPACIDADE E COEFICIENTE DE DISPERSÃO DE LUZ:

Além de quedas nas propriedades físicas e mecânicas do papel, discutidas anteriormente, em decorrência da reciclagem, mudanças nas propriedades ópticas na folha também acontecem, e não são menos importantes. A estrutura do papel possui vários elementos que formam interfaces entre si e com o ar. Devido a esse fato, a luz incidente é refletida, espalhada e absorvida. Estes fenômenos de dispersão absorção e espalhamento são responsáveis pelas características ópticas do papel. Propriedades que envolvem a dispersão de luz estão intimamente relacionadas e podem se interagir como é o caso da opacidade que é dependente segundo a teoria de Kubelka e Munk dos coeficientes de espalhamento de luz e da absorção de luz.

Resumidamente; essas propriedades variam segundo um número de superfícies ópticas de refração e de espalhamento da luz. Quanto mais superfícies de refração existirem no papel, mais fácil será para a luz incidente ser refratada e menor será a quantidade de luz que irá alcançar o lado oposto.

Com um maior número de fibras e partículas existentes na folha maior será a refração sofrida pela luz pois é obrigada a atravessar mais interfaces fibra ar. Neste caso quanto maior o número de fibras maior será a área superficial interna das folhas favorecendo o espalhamento que favorece o aumento da Opacidade e do Coeficiente de Dispersão de Luz. Apesar do exposto, não é seguro afirmar que o refino tem influencia positiva na opacidade. Apesar de aumentar a área superficial em exposição, aumenta também a superfície de ligação entre as fibras, o que vem a reduzir a Opacidade e a Dispersão de Luz.

Durante a reciclagem, a estruturação das fibras na formação do papel favorecerá o aparecimento de superfícies ópticas devido a falta de ligação inter e entre fibras, levando a um aumento na Opacidade e do Coeficiente de Dispersão de Luz. A tendência à estabilização logo no segundo reciclo se deve provavelmente as modificações irreversíveis na estrutura da fibra, que no entanto foi reestruturada com a ação do refino (Figura 7 e 8). Nota-se também que a

refinação apresentou uma ação limitada nestas propriedades, já que o incremento no número de revoluções representou em pequenas alterações, tendendo a uma certa estabilização. Com exceção para o coeficiente de dispersão de luz em polpa de eucalipto, que apresentou uma queda significativa em cerca de 25% (Figura 7.2)

Estas pequenas alterações entre os tratamentos são melhores observadas em Pinus, talvez devido ao fato de suas fibras serem menos favorecidas pela ação do refino.

GILSON E ADRIONI (1998), avaliaram durante 8 ciclos de reciclagem as propriedades ópticas do papel e se verificou um incrementos na opacidade, coeficiente de dispersão de luz e amarelecimento. Este fato foi atribuído ao aumento no teor de finos bem como diminuição no comprimento das fibras.

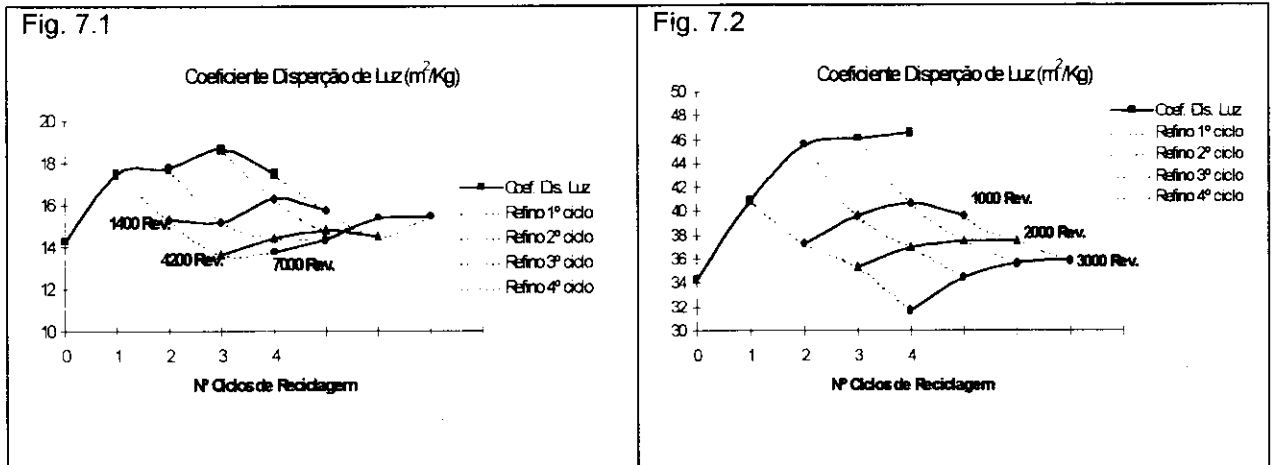


FIGURA 7: Coeficiente Disp. Luz em função dos ciclos de reciclagem com aplicação de refino em cada ciclo para recuperação da propriedade. (Fig. 7.1- Pinus ; Fig. 7.2- Eucalipto).

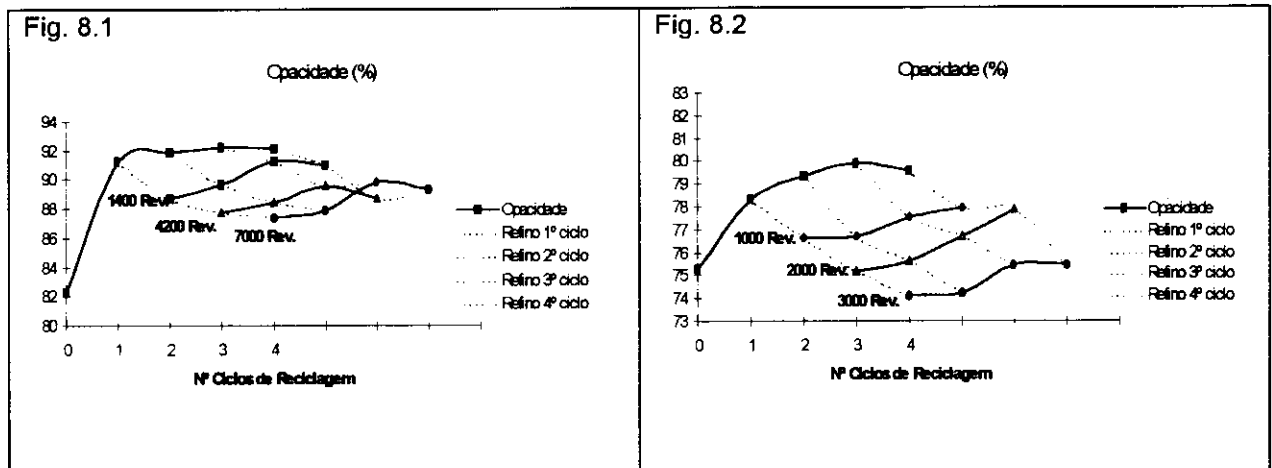


FIGURA 8: Opacidade em função dos ciclos de reciclagem com aplicação de refino em cada ciclo para recuperação da propriedade. (Fig. 8.1- Pinus ; Fig. 8.2- Eucalipto).

5.8 TEOR DE CARBOIDRATOS

As hemiceluloses são responsáveis por diversas propriedades na pasta celulósica, contribuem para o entumescimento, a mobilidade interna e o aumento de flexibilidade das fibras. Durante a secagem, as hemiceluloses por serem adesivas e não cristalinas por natureza, tendem a perder sua elasticidade e tomam-se inacessíveis a água e aos agentes comuns de entumescimento estendendo esta características às fibras de celulose. Isto leva a uma redução do potencial ligante, e pode ser verificado quando as propriedades físicas do papel estão se alterando. Com a secagem, as fibras naturalmente vão sofrendo ligações hidrogênio mais fortes dificultando a ligação uma as outras na formação do papel. No decorrer do processo também se tornam cada vez mais rígidas e menos plásticas, estando sujeitas a perdas cada vez que voltam ao processo de formação de folhas.

A dissolução de carboidratos e a viscosidades são fundamentos que nos permite ter uma relação quase que direta com as mudanças ocorridas nas propriedades finais da polpa. O

mais importante efeito na degradação dos carboidratos é um rápido decréscimo na viscosidade da polpa devido a quebra na cadeia. Porém a queda na viscosidade para ocorrer em perda de propriedades do papel dependerá da intensidade da degradação ocorrida. Estudos com hemicelulose mostram que em degradações não muito drásticas a perda destes grupos não implicam em mudanças significativas na viscosidade, porém pode resultar em quedas nas propriedades finais do papel (HAMILTON e THOMPSON, 1960)

Neste trabalho quantificamos para a polpa de eucalipto o teor de α , β , γ celulose para quatro ciclos de reciclagens e obtivemos uma queda em 40% no teor de γ celulose (Figura 9). Porém, esta degradação não refletiu na viscosidade, onde seus valores não diferiram em nenhum dos ciclos de reciclagem e refino a que foi submetido as amostras (Figura 10). Posteriormente, também serão analisados nos papéis obtidos de pinus.

Ciclos de Reciclagem	40 SR°	1° Ciclo	2° Ciclo	3° Ciclo	4° Ciclo
α Celulose	92.2	92.6	93.0	93.1	93.3
γ Celulose	6.59	5.95	5.86	5.84	3.99

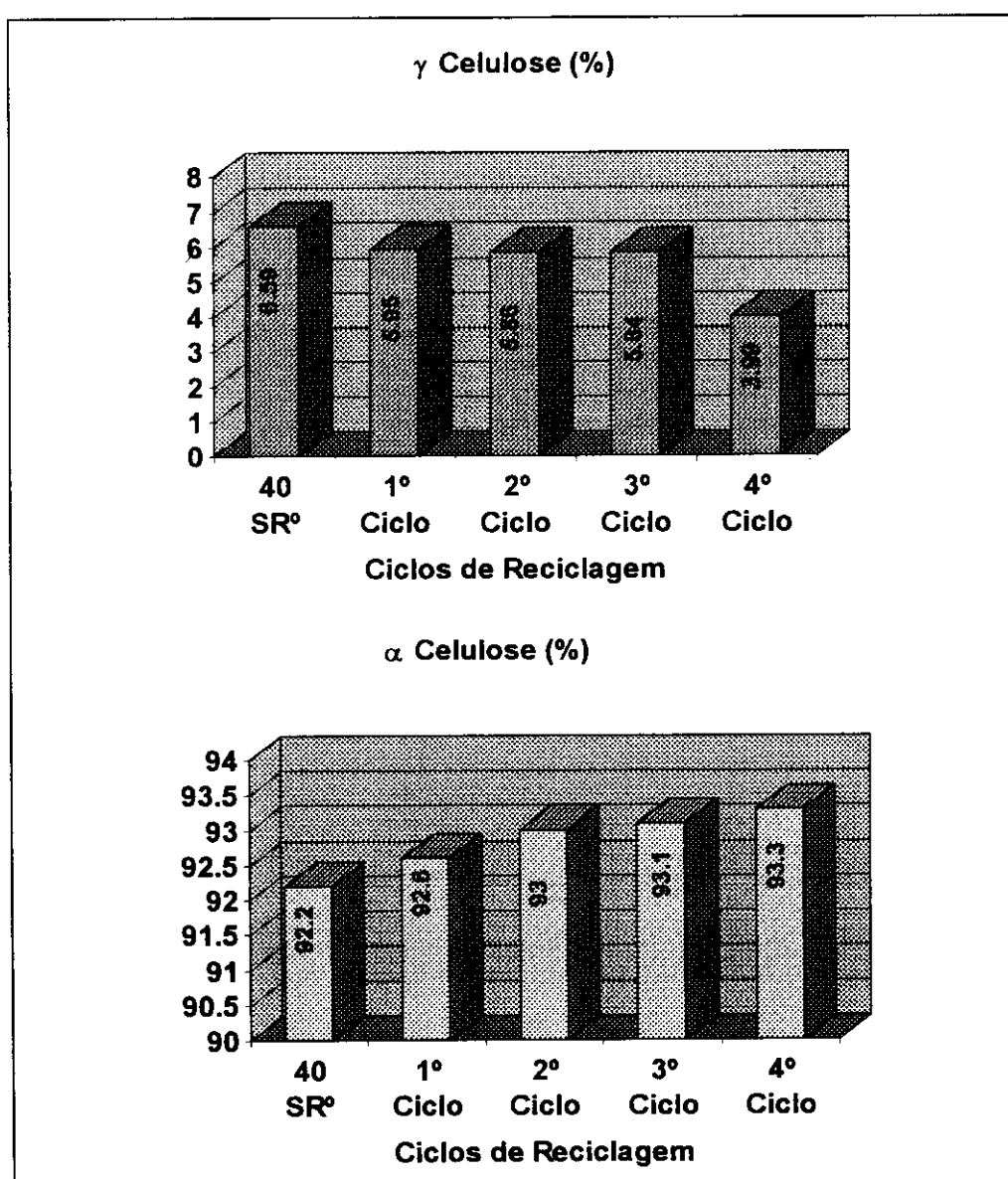


Figura 9- Teor de Carboidratos na polpa reciclada de Eucalipto.

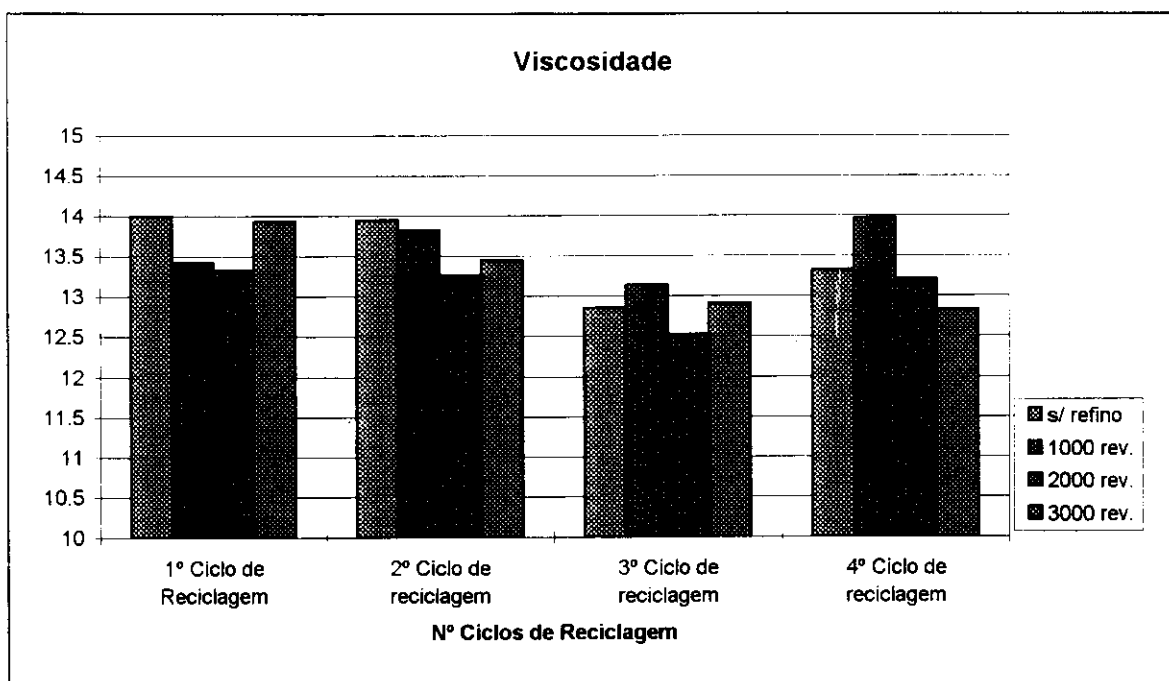


Figura 10: Viscosidade da polpa de Eucalipto em relação

VISCOSIDADE				
	1º Ciclo de reciclagem	2º Ciclo de reciclagem	3º Ciclo de reciclagem	4º Ciclo de reciclagem
s/ refino	13.99	13.95	12.85	13.32
1000 rev.	13.42	13.82	13.14	13.96
2000 rev.	13.32	13.26	12.52	13.21
3000 rev.	13.93	13.45	12.91	12.82

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS:

1. A influência da reciclagem é mais considerável no primeiro reciclo, mostrando tendências de enriquecimento irreversível na fibra. Portanto a necessidade de um tratamento que viabilize a reutilização de fibras secundárias é de fundamental importância para a atividade papelera.
2. O refino é um método comum de aumentar a capacidade de ligação entre as fibras, mas no caso de fibras recicladas deve-se tomar precauções para que seu efeito não seja indesejável já que as fibras por se tomarem mais frágeis estão mais susceptíveis a formação de finos e diminuição de seu comprimento, refletindo nas propriedades ópticas do papel.
3. As fibras recicladas respondem bem ao refino, melhorando as propriedades do produto final, no entanto, após atingirem um máximo as propriedades tendem a se estabilizar, e se esse tratamento for prolongado pode-se levar ao declínio.
4. O estágio de refinação das fibras recicladas deve ser bem estudado, pois efeitos indesejáveis podem acontecer como aumento elevado do grau SR^o, redução do comprimento das fibras, e redução na resistência ao rasgo.
5. As fibras curtas apresentam a uma menor perda de propriedades com o desenvolvimento dos ciclos de reciclagem, além de responderem melhor ao processo de refinação, necessitando de uma menor gasto de energia para que suas propriedades sejam recuperadas.

RESULTADOS FÍSICOS MECÂNICOS DOS PAPÉIS DE EUCALIPTO

Tratamento: 40 SR

Rev.	SR°	IT	IA.	IR	AL	RPA	DLP	CR	TLP	TEA	MOE	L	M	O	CDL	A	Amar.
		N.m/g	KPa.m ² /g	mN.m ² /g	%	s/100cm ³	%	N	MPa	J/m ²	MN.m/Kg	s/50cm ³	s/100cm ³	%	m ² /Kg	% ISO	% ISO
4500	40	79.59	6.05	8.643	2.97	34.33	0.35	74.45	56.96	105.88	7.74	11.39	57.77	75.30	34.25	88.74	6.49

Tratamento: 1º ciclo de reciclagem

Rev.	SR°	IT	IA.	IR	AL	RPA	DLP	CR	TLP	TEA	MOE	L	M	O	CDL	A	Amar.
		N.m/g	KPa.m ² /g	mN.m ² /g	%	s/100cm ³	%	N	MPa	J/m ²	MN.m/Kg	s/50cm ³	s/100cm ³	%	m ² /Kg	% ISO	% ISO
0	27.0	53.33	3.617	8.181	2.24	7.86	0.35	48.62	32.25	51.17	6.18	16.95	102.76	78.31	40.95	90.0	5.18
1000	43.0	71.45	4.666	8.129	2.66	24.36	0.36	68.42	50.00	85.04	7.37	21.69	62.22	76.64	37.35	87.90	5.40
2000	47.0	81.78	6.124	9.154	2.99	49.10	0.39	75.57	58.67	106.14	7.83	26.55	59.92	75.20	35.36	87.30	5.89
3000	54.0	85.69	6.426	8.980	3.10	81.2	0.43	79.43	64.19	114.72	7.87	30.08	46.70	74.12	31.72	86.53	6.56

Tratamento: 2º ciclo de reciclagem

Rev.	SR°	IT	IA.	IR	AL	RPA	DLP	CR	TLP	TEA	MOE	L	M	O	CDL	A	Amar.
		N.m/g	KPa.m ² /g	mN.m ² /g	%	s/100cm ³	%	N	MPa	J/m ²	MN.m/Kg	s/50cm ³	s/100cm ³	%	m ² /Kg	% ISO	% ISO
0	25.0	51.11	3.135	8.303	1.89	4.69	0.33	48.57	30.14	42.55	6.34	12.29	143	79.34	45.51	90.39	4.51
1000	32.0	69.07	4.716	8.581	2.51	13.57	0.38	65.43	44.41	76.59	7.24	17.75	73.26	76.69	39.61	89.90	4.76
2000	39.0	78.17	5.436	8.916	2.89	31.59	0.39	74.96	54.55	102.15	7.61	20.68	66.04	75.65	37.04	88.63	5.10
3000	46.0	86.41	5.766	9.242	2.91	60.15	0.40	80.36	61.35	109.55	8.49	25.17	47.86	74.24	34.46	88.40	5.96

Tratamento: 3º ciclo de reciclagem

Rev.	SR°	IT	IA.	IR	AL	RPA	DLP	CR	TLP	TEA	MOE	L	M	O	CDL	A	Amar.
		N.m/g	KPa.m ² /g	mN.m ² /g	%	s/100cm ³	%	N	MPa	J/m ²	MN.m/Kg	s/50cm ³	s/100cm ³	%	m ² /Kg	% ISO	% ISO
0	26.0	48.79	2.787	7.376	1.89	3.1	0.32	46.93	27.03	41.06	6.14	11.56	322	79.92	46.05	88.26	4.89
1000	29.0	66.01	4.265	8.686	2.27	7.72	0.34	62.24	41.50	65.50	7.40	16.33	84.04	77.56	40.68	88.78	4.81
2000	37.0	75.95	4.950	8.829	2.58	17.04	0.38	70.84	50.06	86.20	7.97	19.00	62.74	76.70	37.52	89.07	4.89
3000	43.5	79.08	6.076	9.098	2.68	33.4	0.39	73.66	54.65	92.91	8.09	20.50	53.20	75.50	35.69	88.20	5.16

Tratamento: 4º ciclo de reciclagem

Rev.	SR°	IT	IA.	IR	AL	RPA	DLP	CR	TLP	TEA	MOE	L	M	O	CDL	A	Amar.
		N.m/g	KPa.m ² /g	mN.m ² /g	%	s/100cm ³	%	N	MPa	J/m ²	MN.m/Kg	s/50cm ³	s/100cm ³	%	m ² /Kg	% ISO	% ISO
0	23.0	45.04	2.654	6.887	1.86	2.70	0.32	42.97	24.51	36.07	5.55	10.80	110.8	79.60	46.63	90.29	5.15
1000	27.0	66.89	4.057	8.375	2.22	6.45	0.37	63.96	41.29	66.18	7.5	15.64	95.86	77.96	39.64	89.10	5.43
2000	33.0	77.36	5.440	9.205	2.85	17.10	0.41	72.90	51.16	97.14	7.57	18.84	74.36	77.87	37.58	88.84	5.83
3000	42.0	80.07	6.255	9.496	2.90	32.26	0.42	76.27	55.65	101.81	7.41	22.20	106.00	75.50	35.85	88.74	6.05

Rev.= Número de Revoluções IT= Índice de Tração IA= Índice de Arrebatamento IR= Índice de Rasgo AL= Alongamento RPA= Resistência Passagem de Ar
 DLP= Deformação Lim. Proporcionalidade CR= Carga de Ruptura TLP= Tenção Lim. Proporcionalidade TEA= Energia Deformação MOE= Módulo de Elasticidade
 L= Lisura M= Maciez O= Opacidade CDL= Coeficiente Dispersão Luz A= Alvura Amar.= Amarelecimento

RESULTADOS FÍSICOS MECÂNICOS DOS PAPÉIS DE PINUS

Tratamento: 40 SR

Rev.	SR°	IT	IA.	IR	AL	RPA	DLP	CR	TLP	TEA	MOE	L	M	O	CDL	A	Amar.
		N.m/g	KPa.m ² /g	mN.m ² /g	%	s/100cm ³	%	N	MPa	J/m ²	MN.m/Kg	s/50cm ³	s/100cm ³	%	m ² /Kg	% ISO	% ISO
5650	40	92.49	6.49	1.24	2.32	11.56	0.44	84.95	22.66	87.84	8.70	5.93	24.77	82.26	14.28	22.31	55.80

Tratamento: 1º ciclo de reciclagem

Rev.	SR°	IT	IA.	IR	AL	RPA	DLP	CR	TLP	TEA	MOE	L	M	O	CDL	A	Amar.
		N.m/g	KPa.m ² /g	mN.m ² /g	%	s/100cm ³	%	N	MPa	J/m ²	MN.m/Kg	s/50cm ³	s/100cm ³	%	m ² /Kg	% ISO	% ISO
0	19	56.45	4.77	2.10	2.04	3.05	0.37	52.94	11.53	48.96	5.99	4.0	45.85	91.25	17.47	25.22	52.33
1400	32	76.69	6.19	1.50	2.41	6.84	0.38	70.17	16.79	77.16	7.60	5.87	22.85	88.73	15.30	23.35	54.19
4200	60	83.19	6.51	1.20	2.64	41.38	0.39	76.12	18.50	91.99	7.91	7.10	25.66	87.71	13.61	22.33	55.18
7000	74	92.48	7.81	1.19	2.55	66.50	0.41	84.62	22.13	98.69	8.78	8.15	20.38	87.37	13.78	22.23	53.60

Tratamento: 2º ciclo de reciclagem

Rev.	SR°	IT	IA.	IR	AL	RPA	DLP	CR	TLP	TEA	MOE	L	M	O	CDL	A	Amar.
		N.m/g	KPa.m ² /g	mN.m ² /g	%	s/100cm ³	%	N	MPa	J/m ²	MN.m/Kg	s/50cm ³	s/100cm ³	%	m ² /Kg	% ISO	% ISO
0	16.0	46.82	3.76	24.59	1.88	1.02	0.36	44.55	9.75	38.04	5.31	2.53	51.11	91.86	17.74	25.19	52.58
1400	24.0	68.75	5.84	16.37	2.47	3.40	0.37	63.14	13.73	71.32	6.80	3.38	26.45	89.72	15.21	23.69	54.33
4200	52.0	81.85	6.57	14.06	2.44	21.28	0.37	74.20	17.90	82.95	8.20	5.98	20.84	88.43	14.42	22.69	55.20
7000	74.0	89.69	7.50	12.00	2.42	61.25	0.39	81.32	20.48	89.23	8.73	8.53	20.64	87.89	14.38	23.58	53.57

Tratamento: 3º ciclo de reciclagem

Rev.	SR°	IT	IA.	IR	AL	RPA	DLP	CR	TLP	TEA	MOE	L	M	O	CDL	A	Amar.
		N.m/g	KPa.m ² /g	mN.m ² /g	%	s/100cm ³	%	N	MPa	J/m ²	MN.m/Kg	s/50cm ³	s/100cm ³	%	m ² /Kg	% ISO	% ISO
0	14.0	38.96	3.18	22.47	1.85	2.24	0.34	36.78	7.97	26.54	5.02	2.19	52.86	92.25	18.71	25.62	52.36
1400	19.0	67.81	4.98	18.55	2.22	2.75	0.35	61.99	12.74	62.57	6.74	3.19	30.12	91.28	16.31	24.10	54.42
4200	43.0	77.37	6.90	13.82	2.48	18.61	0.39	74.01	17.38	90.74	7.45	6.45	27.05	89.63	14.81	23.13	54.51
7000	68.0	86.59	7.16	13.22	2.68	58.23	0.39	82.20	20.55	93.83	8.42	7.71	22.72	89.89	15.39	23.74	53.47

Tratamento: 4º ciclo de reciclagem

Rev.	SR°	IT	IA.	IR	AL	RPA	DLP	CR	TLP	TEA	MOE	L	M	O	CDL	A	Amar.
		N.m/g	KPa.m ² /g	mN.m ² /g	%	s/100cm ³	%	N	MPa	J/m ²	MN.m/Kg	s/50cm ³	s/100cm ³	%	m ² /Kg	% ISO	% ISO
0	14.0	41.80	3.645	24.19	1.51	0.54	0.35	41.00	8.98	27.48	5.33	2.63	54.15	92.16	17.47	25.12	52.44
1400	18.0	61.57	5.184	19.53	2.01	1.64	0.39	60.14	13.46	54.38	6.50	3.48	42.28	90.97	15.78	23.79	53.91
4200	41.0	68.98	6.159	15.34	2.07	15.0	0.39	65.06	16.37	60.62	7.16	5.68	28.03	88.75	14.48	23.59	53.71
7000	69.0	91.27	6.824	11.56	2.35	61.0	0.40	83.67	18.35	87.77	8.73	7.75	22.76	89.35	15.42	24.00	52.90

Rev.= Número de Revoluções IT= Índice de Tração IA= Índice de Arrebatamento IR= Índice de Rasgo AI= Alongamento RPA= Resistência Passagem de Ar
 DLP= Deformação Lim. Proporcionalidade CR= Carga de Ruptura TLP= Tenção Lim. Proporcionalidade TEA= Energia Deformação MOE= Módulo de Elasticidade
 L= Lisura M= Maciez O= Opacidade CDL= Coeficiente Dispersão Luz A= Alvura Amar.= Amarelecimento

7- BIBLIOGRAFIA CITADA

- 1- ELLIS, R. L. & SEDLACHEK, K. . Recycled versus virgin fiber characteristics : a comparison. **Tappi** 76(2): p 143-146 ,1994.
- 2- THODE, E. F., A. J., E HU, Y. **Tappi** 38(2): p 88 ,1955.
- 3- MC.COMB, R. E E WILLIAMS, J. C. The value of alkaline paper for recycling. **Tappi** 64(4): p 92 ,1981.
- 4- BUGAGER, SILVIA. O efeito da reciclagem de fibras secundárias sobre as propriedades de papel Kraft. **O papel** 37(12): p 108-112 (1976)
- 5- PAGE, D. H., SETH, R. S. A note on the effect of fiber strength on the tensile strength of paper. **Tappi Journal**, Atlanta, GA, v. 71, n. 10, p.182 - 183, 1988.
- 6- D'ALMENDA, M. L. O.(Coord.) **Celulose e Papel. Tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2. ed. São Paulo: IPT, 1988. v.1 p.559
- 7- ALFREDO, P,O,. SAYURI, K, R, Estudo laboratorial das características fibrosas em função dos números de reciclagens. **4º Semana de Papel e Celulose- Anais Curitiba-Brasil 26-29 Agosto 1997**.
- 8- CARDOSO, G. S., ADRIONI, J. L., Avaliação das propriedades óticas e morfológicas das misturas de fibras em função do número de reciclagem, através da teoria de Kubelka-Munk." **31 Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP**. São paulo -Brasil de 19 a 23 outubro de 1998. Anais
- 9- HAMILTON, J. K AND THOMPSON, N. S., **Pulp and Paper Can.** 1960
- 10- OLIVEIRA,R,C. e SABIONI,L. - Impacto das variáveis de refino e da adição de fibras virgens na recuperação da qualidade de papéis de Eucalipto decorrente da reciclagem. **I Congresso de Tecnologia Papeleira**. São Paulo – Brasil de 14 a 16 abril, 1998. Anais.

- 10- HORN, R.A. & BORMETT, D.W. Press drying recycled fiber for use in paperboard. **Tappi Journal**, 68(12):78-83, 1985.
- 11- **ANFPC**-Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose. Relatório Estatístico 1998. São Paulo, 1998.
- 12- WOODWARD, T. W. -Recycled fibers types processing history affect pulp behavior during papermaking. **Pulp and Paper** (08): p 41-44 (1994)
- 13- MOUSA, M. and PASZNER, L. -Fundamentals of strenght loos in recycled paper. **Tappi Journal**. 77 (09): p 171-179 (1994)
- 14- **BRACELPA**- Associação Brasileira de Celulose e Papel - Relatório Anual (1997).
- 15- NEVES, J.M e BLANCO, A.P. -Recuperação de fibras secundárias de materiais com resistência a úmido: cartões para embalagens de leite. **O Papel**. 50 (01): p 44-52 (1996).
- 16- KWEI. N.L, JACQUES L.V, QUAN. J. - Efects of recycling on papermaking properties of mechanical and high yeld pulps: Part I. **TAPPI journal**. 73 (03): p 167-174 (1996).