

Influência da dimensão e qualidade dos cavacos na polpação.

Influence the size and quality of chips in the pulping.

Sâmique Kyene de Carvalho Araujo Camargo, Tiago José da Silva, Daiane de Moura Costa

Universidade Estadual Paulista/UNESP - Sorocaba, SP, Brasil

Resumo

A qualidade dos cavacos usados na produção de celulose é considerada um fator importante para operabilidade da indústria e para a qualidade da polpa. Os cavacos desejáveis são aqueles que apresentam poucas variações nas características físicas e químicas, isentos de contaminantes, alta densidade a granel, impregnação homogênea, baixa degradação de polissacarídeos e alto rendimento na transformação em polpa celulósica. Na indústria a classificação do tamanho dos cavacos passou a ser adotada depois que estudos demonstraram que os cavacos muito grandes e/ou muito pequenos poderiam interferir no processo de deslignificação e na qualidade da polpa celulósica. O objetivo deste trabalho é apresentar as dimensões e qualidade de um cavaco para polpação.

Palavras-chave: *Celulose. Densidade. Deslignificação. Polpa celulósica.*

Abstract

The quality of the chips used in pulp production is considered an important factor for the industry operability and quality of the pulp. Desirable chips are those that have little variations in physical and chemical characteristics, free of contaminants, high bulk density, homogeneous impregnation, polysaccharides low degradation and high performance in the processing of pulp. In manufacturing the chip size classification has been adopted after studies showed that the chip very large and / or too small could interfere in the delignification process and the quality of pulp. The objective of this paper is to present the dimensions and quality of chips for pulping. **Keywords:** *Word1, word2, word3, word4, word5.*

Keywords: *Cellulose. Density. Delignification. Pulp.*

1 Introdução

Houve um aumento das exportações da celulose brasileira por conta da boa qualidade, preço internacionalmente competitivo, privilegiadas condições edafoclimáticas, e também pela implantação de inovações tecnológicas, as quais aumentaram a produtividade florestal e o desempenho industrial, bem como o investimento em estudo de melhoramento genético em clones.

As fábricas de celulose são extremamente cautelosas quanto à qualidade da matéria prima fibrosa. Há boas razões para isso e todas se relacionam à produtividade, qualidade e custos operacionais. Preferencialmente, a madeira a ser convertida em cavacos deve ser a de toras de tronco, obtida de árvores sadias, sem nós, sem tortuosidades e com o mínimo de casca. Significa que as toras necessitam de um descascamento prévio, antes de serem convertidas em cavacos.

A madeira passa por diversos processos para ser transformada em celulose, a primeira operação é a picagem, que consiste na redução dos toretes em cavacos.

Durante a picagem é comum a ocorrência de variações no tamanho dos cavacos, entretanto, variações muito grandes podem ser minimizadas através da afiação periódica das facas de corte, e com mudanças da configuração do corte.

A variação no tamanho dos cavacos é facilmente vista nos pátios de armazenamento, e acontece pela desuniformidade natural da madeira. Portanto, os cavacos são classificados em peneiras antes de entrarem no processo de cozimento, com objetivo de separar os cavacos muito grandes e os muito pequenos, pois dificultam a operacionalização, aumentam o teor de rejeitos e reduzem a uniformidade da polpa.

Para tentar melhorar o rendimento durante a polpação para obtenção da celulose deve-se avaliar as influências da dimensão e qualidade dos cavacos sobre o rendimento e a qualidade da polpa.

O objetivo deste trabalho é discorrer sobre a influência das dimensões e da qualidade do cavaco para polpação, visando a obtenção de uma polpa de maior qualidade e rendimento.

2. Material e métodos

A metodologia empregada consistiu na revisão de literatura abordando os principais aspectos referentes à dimensão e qualidade dos cavacos na polpação.

3. Revisão Bibliográfica

3.1 Picagem da madeira

Atualmente a qualidade dos cavacos tornou-se um conceito muito importante na fabricação de celulose, devido ao aumento da concorrência entre os produtores de polpa e o aumento dos custos da matéria prima. A qualidade dos cavacos produzidos pelos picadores é de suma importância para a sequência do processo de produção de celulose (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL, 1999).

Existem diferentes tipos de picadores de madeira, mas o mais comum é o picador de disco (ASSUMPCÃO, 1988; BENEFIEL, 2006). Esse equipamento usa como mecanismo um disco picador giratório com diâmetro que varia de 1,20 a 3,0 metros, sobre ele podem ser montadas de 4 a 20 facas radialmente com diferentes configurações (FULLER, 1983).

O picador deve ser rápido e econômico devido às grandes quantidades de madeira picadas, deve produzir pouco resíduo e, cavacos com tamanho relativamente uniforme e pouco danificado (FULLER, 1983).

As facas do picador industrial cortam fatias da tora, que são fracionadas em cavacos pelo impacto com o equipamento. A ação mecânica do picador é de alto impacto e podem causar microfissuras e microfraturas nas paredes e entre as células da madeira (FOELKEL, 2009b).

Os cavacos são formados pelo corte perpendicular a direção da grã da madeira pelas facas do picador. As regulagens do equipamento podem modificar o comprimento e a espessura média dos cavacos (GULLICHSEN et al., 2000).

O comprimento dos cavacos é determinado através do corte das lâminas dos picadores, existe diferença entre os dois lados cortados dos cavacos, pois ocorre o esmagamento em um dos lados do cavaco devido ao ângulo da faca de corte, o lado mais danificado apresentará maior capilaridade e, conseqüentemente maior penetração de líquido (FOELKEL, 2009b). Quanto menor o comprimento do cavaco maior o número de fibras cortadas, portanto se há mais fibras menores por unidade de volume de madeira haverá redução da resistência da polpa (FULLER, 1983).

Os danos às fibras da madeira de coníferas são consideráveis se os cavacos forem picados com comprimento abaixo de 20 milímetros. Os cavacos de folhosas podem ser cortados com comprimento de 10 milímetros, pois mesmo com esse comprimento apresentam poucas fibras com danos no comprimento (GULLICHSEN et al., 2000), isso ocorre devido a diferença de comprimento das fibras entre coníferas e folhosas, que é de respectivamente, 2-4 mm e 1mm.

A alteração no ângulo de corte tem uma pronunciada influência sobre a qualidade dos cavacos. Com o aumento desse ângulo maior a quantidade de finos, a espessura e a densidade a granel. A redução deste ângulo resultará no aumento na área da superfície de corte, o que reduz o diâmetro máximo das toras que poderão ser picadas. Apesar dos efeitos negativos a tendência é a redução do ângulo de corte dos picadores (HARTLER, 1996).

O aumento da velocidade de picagem eleva a relação de cavacos finos, por outro lado, a redução da velocidade eleva a relação de cavacos mais grossos. A velocidade ótima determinada no picador de teste foi de aproximadamente 20 m/s. A redução na velocidade de corte juntamente com a diminuição do comprimento dos cavacos, proporciona a redução de finos sem aumentar os cavacos sobre-espessos (ABTCP, 1999).

3.2 Classificação dos cavacos.

Devido a impossibilidade de se obter cavacos uniformes faz –se necessário a classificação dos cavacos.

A classificação industrial dos cavacos pode ser feita por diferentes equipamentos, o modelo mais comum possui um conjunto de duas ou mais peneiras sobrepostas, com orifícios redondos e ou retangulares que diminuem de tamanho da peneira superior para a inferior. Os cavacos retidos na primeira peneira podem ser repicados e novamente classificados, aqueles que passam pela ultima peneira são muito pequenos e considerados matéria-prima perdida. Os cavacos passaram a ser classificados depois que pesquisas demonstraram que os cavacos muito grandes e muito pequenos poderiam interferir no rendimento e na qualidade da polpa de celulose. Os cavacos apresentam três dimensões básicas: comprimento largura e espessura, essa última é a menor delas, porém considerada a mais importante para a impregnação dos cavacos (GRANDE, 2012).

3.3 Dimensões dos cavacos

No processo de transformação da madeira em fibras, a qualidade e a uniformidade dos cavacos que entram no processo é importante para a eficiência do cozimento, branqueamento ou refinamento mecânico, porque quanto maior a variação das dimensões dos cavacos, maior será a responsabilidade da eficácia do tratamento químico (INGRUBER et al., 1985).

Um cavaco típico de madeira deve medir de 15-20 milímetros de comprimento na direção de grã, 12-25 milímetros de largura, e apenas 3-6 milímetros na espessura, transversal a grã da madeira, assim a razão comprimento/espessura é de aproximadamente 4 para 1 (GRACE et al., 1989a).

3.4 Qualidade dos cavacos

Para Smook (2002) a qualidade dos cavacos é medida pela uniformidade das dimensões (comprimento e espessura dos cavacos) e pela ausência de “contaminantes”. Todos os cavacos com 10 a 30 mm de comprimento e de 3 a 6 mm de espessura são normalmente considerados de boa qualidade. Segundo o mesmo autor são considerados contaminantes:

- Cavacos acima do tamanho no comprimento ou na espessura (“oversizes chips”);
- Cavacos com comprimento normal, mas espessura e largura menores que 3 milímetros, palitos (“pin chips”);
- Cavacos muito curtos ou fragmentados, normalmente passam por peneiras com orifícios circulares de 3 milímetros, finos (“fines”);
- Cascas e madeira podre;
- Areia e outros materiais.

Os cavacos preferidos são aqueles que possuem entre 15 a 25 mm de comprimento e espessura de 2 a 8 mm. Os cavacos com espessura maior têm dificuldades de impregnação, consumirão mais álcali, produzirão polpa com alto teor de rejeitos, e conseqüentemente o rendimento da conversão da madeira em celulose diminuirá. Os cavacos muito pequenos também são indesejáveis, pois apresentam mais danos mecânicos e consomem mais reagentes durante a polpação (FOELKEL, 2009b).

Para a indústria de celulose a presença de nós é sempre considerada indesejável, porque eles contribuem para perdas de rendimento na depuração da polpa. Os nós são extremamente duros e densos, contêm alta proporção de madeira de reação e são muito difíceis de picar. Na polpação química a madeira dos nós é subcozida e a maior parte termina como rejeitos (PARHAM, 1983).

Os cavacos acima do tamanho são a principal causa dos rejeitos na polpação química. Os palitos, finos e a madeira podre causam a redução do rendimento e na resistência da polpa e contribuem para os problemas de circulação do sistema de polpação (SMOOK, 2002), entopem as peneiras.

Os cavacos muito compridos podem causar bloqueios nos sistemas de transporte, no manuseio e aumentar consideravelmente o teor de rejeitos, enquanto que os cavacos finos são considerados como matéria prima perdida, pois não podem ser recuperados através da repicagem (ABTCP, 1999).

Na polpação Kraft a espessura é o parâmetro mais importante para determinar a qualidade dos cavacos. Isso porque o licor de cozimento deve ser capaz de penetrar em todas as direções. Portanto, a espessura é a dimensão que determina quando o cavaco será completamente penetrado (MIMMS et al., 1993).

A tentativa de compensar a espessura do cavaco com o aumento do tempo de cozimento, ou da concentração do licor pode resultar em melhor cozimento interno, mas as partes externas serão muito cozidas, reduzindo o rendimento e resistência da polpa (MIMMS et al., 1993), devido a degradação dos carboidratos.

Twaddle (1997) estudou a influência do comprimento dos cavacos sobre a espessura em diferentes espécies. Os cavacos foram produzidos pela picagem das pranchas de madeira em equipamento hidráulico de laboratório, as pranchas foram serradas com três diferentes ângulos de orientação dos anéis de crescimento. As médias da espessura dos cavacos, independentemente da orientação dos anéis, aumentaram nas quatro espécies estudadas com o aumento do comprimento dos cavacos.

Tessier et al. (2000) estudaram estatisticamente dados coletados em 16 meses por uma indústria de celulose e construíram um modelo empírico ligado a distribuição do tamanho das frações e qualidade do papel. Eles concluíram que 40% da variabilidade na qualidade da polpa podem estar associadas às mudanças das características dos cavacos.

Cavacos muito espessos podem gerar polpas heterogêneas isso porque o álcali no centro do cavaco é consumido mais rapidamente do que é repostado por difusão, podendo causar até mesmo a reprecipitação da lignina. (GUSTAFSON et al., 1989). Apresentam problema de impregnação e são uma grande fonte de geração de rejeitos.

3.5 Presença de casca

De acordo com Foelkel (2015) há inúmeras razões para se descascar a madeira, mas a maioria das empresas sabe que sua operação fabril é facilitada e otimizada quando a casca das árvores é removida. Isso tem sido aprendido tanto nos laboratórios, quanto pela própria vivência operacional. As cascas das árvores dos eucaliptos trazem diversos problemas operacionais e de qualidade dos produtos, tais como:

- a) na estocagem da madeira com casca, a susceptibilidade ao ataque de microrganismos é maior;
- b) na produção e classificação dos cavacos, há maior produção de finos e de grumos de cascas e maior ocorrência de entupimentos das peneiras de classificação dos cavacos;
- c) na estocagem dos cavacos em silos e em seu manuseio, é muito maior ocorrência de entupimentos;
- d) na alimentação e circulações mássicas em digestores contínuos, é muito maior a ocorrência de entupimentos das peneiras das circulações de licor;
- e) maior entupimento das telas de filtros lavadores devido presença de material fino;
- f) aumento substancial no teor de sólidos secos à caldeira de recuperação devido menor rendimento no cozimento e maior demanda de álcali ativo para polpação;
- g) dificuldades operacionais nos evaporadores devido incrustações de matéria orgânica e de sílica, exigindo mais lavagens;
- h) maior formação de espumas devido presença de mais extrativos nas cascas;
- i) rendimento em celulose muito menor, podendo com isso causar uma perda de produção diária da fábrica;
- j) muito maior consumo de reagentes químicos, tanto no cozimento (álcali ativo), como no branqueamento (cloro ativo);
- k) maior quantidade de íons metálicos que comprometem o branqueamento ECF e TCF onde se usam compostos de oxigênio;
- l) frente à menor densidade básica da casca, ela ocupa um volume dentro do digestor que poderia ser ocupado por maior peso de cavacos de madeira. Conseqüentemente, a produção do digestor é menor quando há casca acompanhando os cavacos.
- m) a presença de casca provoca o escurecimento da celulose e muito maior teor de sujeiras contaminantes, o que exige uma depuração muito mais sofisticada;
- n) a casca está sempre associada à presença de outros contaminantes como terra, areia, galhos e folhas. Todos prejudicam a qualidade do produto e as operações desde o cozimento até a produção do papel. Além disso, há também a abrasão dos equipamentos causada por esses contaminantes.
- o) as resistências físico-mecânicas da celulose diminuem pela presença de casca;
- p) na preparação da massa, o controle da refinação é prejudicado pelo fato das fibras e finos da casca possuírem drenabilidade mais lenta e maior índice de retenção de água;
- q) na máquina de papel, há dificuldades com a drenagem, com a resistência à úmido das folhas e com a qualidade do papel.

Por todas essas razões, as fábricas costumam descascar as toras de eucalipto. Um descascamento eficiente na fábrica pode conduzir a uma polpa de melhor qualidade e a uma performance superior de toda a operação industrial. Entretanto, as conseqüências podem ser a maior perda de madeira e as dificuldades em se dispor os resíduos de casca, madeira e sujeiras associadas, como terra, pedras, folhas, etc.

3.6 Impregnação

A impregnação dos cavacos inicia quando o licor de cozimento é adicionado aos cavacos. O objetivo da impregnação é distribuir o licor de cozimento uniformemente no interior dos cavacos. A impregnação consiste em dois diferentes processos: penetração pelos poros da madeira e difusão.

A difusão significa que os íons e as moléculas se movem de uma área com alta concentração para outra de menor concentração, a difusão dos reagentes químicos ocorre somente se os poros da madeira já estiverem preenchidos pelo licor (MIMMS et al., 1993).

A impregnação ocorre em meio bem alcalino (pH = 12,5 a 14,0) com velocidade de penetração do licor de 5 a 15 vezes mais rápida do que a difusão, porém quando o cavaco está saturado a velocidade da difusão aumenta bastante. Assim, torna-se mais rápido para os íons atingirem o centro do cavaco pela espessura em comparação com as demais dimensões do cavaco (FOELKEL, 2009b).

A penetração do licor é um fenômeno físico da entrada do licor através da porosidade e capilaridade, ela é mais rápida em cavacos secos, entretanto, quanto mais seco maior a quantidade de ar contida dentro do cavaco. O ar aprisionado dentro do cavaco dificultará a impregnação, devido à resistência oferecida ao licor (FOELKEL, 2009b).

As madeiras com baixa densidade básica são ricas em vasos e podem ser mais facilmente impregnadas e deslignificadas, e produzir polpas com maiores rendimentos e menores teores de rejeitos (FOELKEL, 2009e).

Nos licores de cozimento com pH acima de 13,0 a difusão dos íons hidroxilas ocorrerá nas três direções do cavaco praticamente simultaneamente. Entretanto em licores com pH abaixo de 13, a difusão na direção longitudinal é de aproximadamente cinco vezes mais rápida que na direção transversal, portanto os íons alcançarão o centro do cavaco principalmente pela difusão no sentido da grã. (GRACE et al., 1989a).

Os íons hidroxilas do licor de cozimento são neutralizados quando entram nos cavacos e reagem com a madeira, reduzindo a concentração desses íons. Nos cavacos muito espessos se o pH no centro do cavaco cair muito, abaixo do pH 12,5, reduzirá a taxa de difusão no sentido da espessura do cavaco, conseqüentemente a deslignificação ocorrerá lentamente. Se ao final do cozimento a deslignificação do centro do cavaco não ocorreu tanto quanto necessário para a liberação das fibras, essa parte do cavaco ficará subcozida e será removida da polpa durante a depuração como rejeito (GRACE et al., 1989a).

A presença de água no interior da madeira atua como uma barreira para a penetração, mas recebe facilmente os íons ativos por difusão. A impregnação se completará quando todas as camadas e paredes estiverem molhadas pelo licor de cozimento e o fluxo iônico causado pela difusão se equilibrar, ou seja, quando as concentrações de íons ativos estiverem iguais tanto no licor de dentro quanto fora dos cavacos. (FOELKEL, 2009b). O teor de umidade dos cavacos deve estar entre 45- 55 %.

3.6.1 Cozimento

Através da adequada impregnação dos cavacos, os reagentes alcalinos entram de maneira mais uniforme na matriz lignocelulósica, de modo a agredir muito pouco os carboidratos. Os cavacos já impregnados com o licor de cozimento e com a quantidade de íons hidroxila adequada para a deslignificação, podem atingir as temperaturas mais altas onde ocorre a deslignificação mais intensa e principal. A partir deste momento o número kappa cai de 140 para 20 - 25 (muito rapidamente) e depois para 15 a 18 (mais lentamente na deslignificação residual). Deve haver também valores suficientes de hidroxilas e hidrossulfetos para a deslignificação. Se faltar álcali poder ocorrer reprecipitação de lignina e isso seria um desastre, pois ao reprecipitar a lignina fica muito mais difícil de ser removida, inclusive no branqueamento (O PROCESSO... 2015).

No cozimento os cavacos são impregnados com uma solução de reagentes (licor branco), que agem degradando a lignina e liberando as fibras, o licor de cozimento deve penetrar e alcançar o centro do cavaco simultaneamente nas três dimensões, caso esse fenômeno não ocorra, os cavacos não serão suficientemente impregnados pelo licor, e conseqüentemente a região central ficará mal cozida, ou seja, grande parte da lignina continuará nas fibras e essa parte será separada e perdida como rejeito. O processo químico mais utilizado na produção de celulose branqueada de *Eucalyptus* spp é o Kraft, ele consiste em acondicionar os cavacos juntamente com o licor de cozimento, solução de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S), em um reator sob pressão, onde os cavacos são impregnados

pela solução, e em seguida aquecidos para facilitar a reação do licor com a lignina e individualizar as fibras. (GRANDE,2012).

3.7 Qualidade das fibras

As fibras de madeira são divididas em dois grupos, o primeiro composto pelas fibras longas, normalmente produzidas com madeira de coníferas, e o segundo grupo das fibras curtas provenientes de madeira de folhosas (DOWNES et al., 1997).

A qualidade da celulose e do papel é influenciada pelas características das fibras, como o comprimento, diâmetro e espessura da parede das fibras. A densidade da madeira correlaciona-se intimamente com a qualidade das fibras, madeira mais densa possuem fibras relativamente mais espessas e mais resistentes, enquanto que as fibras de madeira menos densas colapsam mais facilmente (DOWNES et al., 1997).

4 Conclusões

Vários tipos de matérias primas podem ser utilizados para produzir papel, mas as fibras de madeira são as mais usadas. As coníferas possuem menor densidade, o que possibilita maior impregnação do álcali, no entanto a presença de vasos no eucalipto, uma folhosa, a mais utilizada na produção de papel também possibilita boa impregnação.

A polpação é dependente dos processos desenvolvidos durante sua execução, de modo que há uma interdependência entre as etapas, para um bom desempenho, tanto em qualidade do produto, quanto em eficiência do processo, todas as etapas dependem de uma correta execução e influenciam no resultado final.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. Curso de especialização em celulose: processamento da madeira. Telêmaco Borba: ABTCP/UFV,1999. 75 p.
- ASSUMPÇÃO, R. M. V. et al. Polpação química. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Celulose e papel. São Paulo: Escola SENAI "Theobaldo de Nigris", 1988. v. 1, p. 169- 312.
- DOWNES, G. M. et al. Sampling plantation eucalypts: for wood and fibre properties. Collingwood: CSIRO, 1997. 132 p.
- FULLER, W. S. Chipping, screening and cleaning. In: KOCUREK, M. J.; STEVENS, C. F. B. (Ed.). Pulp and paper manufacture. 3rd. ed. Montreal: Canadian Pulp and Paper Association, 1983. p. 128-144.
- FOELKEL, C. E. B. O processo de impregnação dos cavacos de madeira de eucalipto pelo licor Kraft de cozimento. Grau Celsius, 2009. Disponível em:<http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT15_ImpregnaçãoCavacos.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2010b.
- FOELKEL, C. E. B. Elementos de vaso e celuloses de eucalipto. Grau Celsius, 2009. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT04_vasos.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2010e.
- FOELKEL, Celso. Descascamento de toras de eucaliptos. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1604&subject=Toras&title=D escascamento de toras de eucaliptos>. Acesso em: 07 abr. 2015.

- GRACE, T. M. et al. (Ed.). Chemical reactions of wood constituents. In: _____. Alkaline pulping. 3rd. ed. Montreal: Canadian Pulp and Paper Association, 1989b. chap. 5, p. 23-44.
- Grande, João Paulo, 1980- G751d Dimensões de cavacos industriais de eucalipto e relações com polpação, resistência e morfologia de fibras na polpa / João Paulo Grande. – Botucatu: [s.n.], 2012 viii, 77 f. : gráfs., tabs., fots. color.
- GULLICHSEN, J.; PAULAPURO, H. (Ed.). Chemical pulping. Helsinki: Fapet Oy, 2000, v.6A, 693 p.
- GUSTAFSON, R.R.; JIMENEZ, G.; MCKEAN, W.T.; CHIAN, D.S. The role of penetration and diffusion in nonuniform pulping of softwood chips. Tappi Journal, Atlanta, v.72, n.8,p.163-167, Aug.1989.
- HARTLER, N. Achievement and significance of optimal chip quality. TAPPI Journal, Newton, v. 79, n. 2, p. 259-264, Feb. 1996.
- MIMMS, A. et al. (Ed.) Kraft pulping: a compilation of notes. Atlanta: Tappi Press, 1993.181 p.
- PARHAM, R. A. Wood defects. In: KOCUREK, M. J.; STEVENS, C. F. B. (Ed.). Pulp and paper manufacture. 3rd. ed. Montreal: Canadian Pulp and Paper Association, 1983. p. 66-79.
- PROCESSO de Impregnação dos Cavacos de Madeira de Eucalipto pelo Licor Kraft de Cozimento. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT15_ImpregnacaoCavacos.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2015.
- SMOOK, G. A. Characteristics of wood and wood pulp fibers. In: SMOOK, G. A. Handbook for pulp & paper technologists. 3rd. ed. Vancouver: Angus Wilde Publications, 2002. p. 10-19.
- TAPPI Journal, Newton, v. 80, n. 6, p. 123-131, Jun. 1997 VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade básica.
- TESSIER, P. Chip size distribution for an ultra-high-yield sulfite process. TAPPI Journal, Newton, v. 82, n. 12, p. 01-08, Apr. 2000.
- TWADDLE, A. The influence of species, chip length, and ring orientation on chip thickness.