

Uma revisão da modelação do desaguamento mecânico na fabricação de papel

A Review on the Modeling of Mechanical Dewatering in Papermaking

Autor: Vinícius Lobosco – PhD, process intelligence da Paperplat – Suécia

Palavras-chave: papel, modelação, desaguamento, formação, prensagem úmida, pressão na camada de fibras, reologia, histerese, água intra-fibra, compressibilidade, carga estrutural, carga-deformação.

RESUMO

Esta revisão apresenta princípios básicos do processo de fabricação de papel, especificamente, compressão da camada de fibras e fluxo da água através da estrutura fibrosa. Os fenômenos relevantes ao desaguamento mecânico na fabricação de papel são apresentados junto com dados experimentais. É dada atenção especial ao efeito de desuniformidades na camada – ou trama – de fibras e à interação entre a própria camada de fibras e a tela formadora. São também apresentadas algumas sugestões quanto a questões em que deveriam se concentrar estudos ulteriores.

INTRODUÇÃO

A maior parte do desaguamento ocorre por pressão hidráulica e a vácuo na seção de formação, onde a folha de papel alcança teor de sólidos de aproximadamente 20%. Água é removida mecanicamente da folha também na seção de prensas, mas, neste caso, mediante aplicação de níveis de pressão muito mais altos. No nip da

Abstract

This review presents the basic principles of the papermaking process, viz. fibre network compression and water flow through the fibre network. The phenomena that are relevant for mechanical dewatering in papermaking are presented together with experimental data. Special attention is given to the effect of inhomogenities in the fibre network and the interaction between the fibre network and the wire. Some ideas of where further effort should be concentrated are also given.

Keywords: *paper, modeling, dewatering, forming, wet pressing, fibre network stress, rheology, hysteresis, intra-fibre water, compressibility, structural stress, stress-strain.*

prensa é posta carga mecânica que eleva o teor de sólidos para aproximadamente 45%. A maior parte da água restante será removida por evaporação na seção secadora, onde a folha fica em contato com a superfície de certo número de cilindros aquecidos, sendo, assim, finalizado o processo de desaguamento.

Como se pode presumir, a energia de desaguamento aumenta com a diminuição do teor de água na folha, fato que traz conseqüências em custos. Os custos mais altos são, de longe, os da seção secadora, onde a água é eliminada por evaporação. Faz-se recomendável, portanto, a remoção da maior parte possível de água por via mecâ-

nica nas seções mais eficientes em custos, que são as de formação e de prensagem. Mesmo pequenos melhoramentos no desaguamento mecânico resultarão em considerável redução de custos. Modelos matemáticos comprovados pertinentes ao desaguamento mecânico podem contribuir para melhores projetos da máquina, otimização do desaguamento nas seções de formação e prensagem, bem como supervisão do melhoramento do sistema. Além disso, algumas características importantes do papel acabado são determinadas pelo desaguamento mecânico. Por isso, um melhor conhecimento do processo – com o auxílio de modelos matemáticos confiáveis, funda-

mentados nos princípios da Física – pode também resultar em melhoria da qualidade do papel. Este trabalho faz uma revisão da modelação atual do desaguamento mecânico, de modo a oferecer uma visão coerente do processo e sugerir desenvolvimentos para modelos futuros.

DESAGUAMENTO MECÂNICO

Seção de formação da folha

A primeira geração de seções formadoras foi constituída de formadores *Fourdrinier*, onde o desaguamento é feito através de uma tela horizontal por efeito da gravidade. Na década de 1970, a segunda geração de formadores, os de tela dupla – *twin-wires* – começou a ter utilização generalizada. As vantagens principais dos formadores de tela dupla são a maior capacidade de drenagem (aproximadamente quatro vezes maior que aquela dos *Fourdriniers*) e o menor efeito de dupla face na folha. Embora a retenção tenha apresentado resultados piores, as vantagens – especialmente a possibilidade de operar a máquina a velocidades muito mais altas – superaram as desvantagens, de modo que a maioria das máquinas é atualmente dotada de formador de tela dupla.

Basicamente, há duas tecnologias de desaguamento usualmente praticadas nos formadores de tela dupla: a de formadores de rolo e a de formadores de lâmina. Nos caso dos formadores de rolo, a suspensão fibrosa é introduzida entre as duas telas que abraçam o rolo. A pressão aplicada é aproximadamente constante e corresponde à tensão da tela dividida pelo raio da sua curvatura. Nos formadores de lâmina, a suspensão fibrosa e as telas são defletidas mediante uma série de lâminas em posição oposta, e a suspensão fibrosa, nesse caso, é submetida a uma seqüência de pequenos pulsos de pressão.

Os formadores de lâmina produzem papel de boa formação, mas requerem certo compromisso entre retenção e formação. Normalmente, quando a formação melhora, piora a retenção. Reconhece-se o fato de que os pulsos de pressão gerados pelas lâminas rompem os flocos maiores da suspensão de fibras por espalhamento, melhorando a formação no âmbito da grande escala. Em conseqüência, a retenção se deteriora, condição que exige a adição de custosos auxiliares químicos de retenção para preservar uma formação aceitável. Por outro lado, é regra geral que formadores de rolo produzem papel de má formação, mas com boa retenção. Disso, então, resulta, conforme observado em Nordström e Norman [1994], que formadores de lâmina se prestam à obtenção do melhor em ambas as características de formação e retenção, tendo-se de renunciar ao míni-

mo possível. A camada inicial de fibras é formada em condições de alta retenção. Na seqüência, na zona formadora das lâminas, essa camada de fibras parcialmente formada atua como filtro e contribui para uma maior retenção durante a fase de otimização da formação.

De forma conceptual, Baines [1967] dividiu o desaguamento na seção de formação do formador de tela dupla em três zonas: *jato livre*, *cunha* e *áreas de pressão*¹ (Figura 1).

A zona do jato livre é o espaço que a suspensão percorre depois de deixar a caixa de entrada e até impingir nas telas. No ponto de impingimento começa a zona da cunha, onde se adensam as camadas de fibras – ainda separadas pela suspensão fibrosa entre elas – junto às telas, até se unirem. Nesta região, a drenagem se dá por *filtração* [Hisey, 1956; Parker, 1972]. Depois do pon-

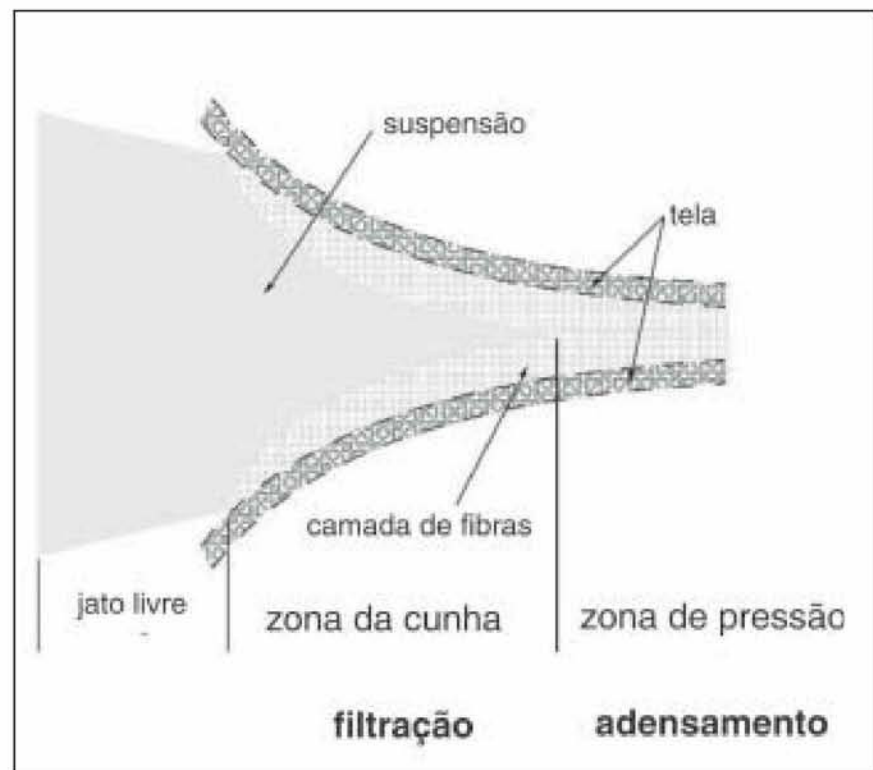


Figura 1. Reprodução esquemática das diversas zonas na seção de formação, com indicação dos mecanismos de desaguamento de cada zona.

¹ Zona de pressão não deve ser confundida com a seção de prensas. Ainda que o mecanismo de desaguamento seja o mesmo, trata-se de duas coisas distintas, que ocupam diferentes regiões da máquina de papel.

to de contato entre as camadas, o desaguamento acontecerá por compressão da folha de fibras. Esta é a zona de pressão, onde o desaguamento é causado por *adensamento*, ou seja, por compressão da camada de fibras. Uma descrição abrangente do processo de formação pode ser encontrado em Wrist [1962], Norman [1989] e Norman e Söderberg [2001].

Seção de prensagem úmida

Na prensagem úmida, o princípio do desaguamento pode ser descrito como um *intenso adensamento*. Nesta operação, assim como na zona de pressão durante a formação, a carga aplicada à camada de fibras é equilibrada por dois componentes: a pressão hidráulica e a carga sobre a camada de fibras (freqüentemente definida como carga estrutural). A pressão hidráulica faz a água fluir entre as fibras, enquanto a carga sobre a camada de fibras causa a deformação desta camada. As cargas aplicadas na prensagem úmida são muito mais altas e o *fluxo de água das paredes da fibra* pode ter função importante.

Campbell [1947] foi o primeiro pesquisador a produzir um relatório detalhado relativamente à Física da prensagem úmida. Ele introduziu o princípio de Terzagui [1944] da mecânica do solo na ciência do papel. De acordo com este princípio, a carga total aplicada no nip, σ_T , é equilibrada pela soma da pressão hidráulica, $\rho_w v$, e a pressão sobre o tecido de fibras (também definida pressão estrutural), σ_s . De fato, o princípio de Terzagui é um caso especial da expressão mais geral [Biot, 1941, Auriault e Sanchez-Palencia, 1977]:

$$\sigma_T = \rho_w v + \sigma_s \quad (1)$$

quando ϕa^{eff} é igual à unidade. O parâmetro ϕa^{eff} é definido *porosidade superficial efetiva* e determinado experimentalmente [Kataja *et al.*, 1995]. Embora a carga total aplicada seja aproximadamente constante, os dois componentes variam devido ao fluxo. A pressão hidráulica diminui no sentido do fluxo, enquanto a carga na camada de fibras aumenta de modo correspondente. Portanto, as camadas mais próximas à superfície, onde a água deixa o meio, são as mais comprimidas. Este fenômeno é chamado de *estratificação* [MacGregor, 1989]. Ainda com base na decomposição da carga no nip, Wahlström [1969] introduziu os conceitos de desaguamentos *fluxo-controlado* e *pressão-controlado*, conforme a importância de cada componente no lado direito da Equação (1).

A idéia de desaguamento fluxo-controlado facilita a percepção das vantagens das prensas de nip largo (ENP)² – *Extended Nip Press* –, onde um rolo é substituído por uma prensa de sapata. Nesses casos, a resistência imposta pelo fluxo inter-fibras do líquido é o fator limitante do desaguamento. Portanto, o maior tempo de residência da folha na ENP consente período mais longo de ação de drenagem da folha, melhorando o desaguamento.

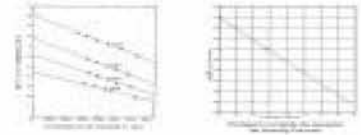
Processo de separação fibra/água

A modelação física do processo de separação fibra/água envolve balanços de massa e de momentum dos componentes e algumas equações constitutivas. Devido à complexidade da geometria das fibras, são freqüentemente adotadas premissas para simplificação, onde as diferentes fases são usualmente tratadas como condição contínua. A seguir, é dada uma revisão sumária das experiências re-

levantes para a modelação matemática do desaguamento mecânico.

Fluxo através de meios porosos

Balço de momentum entre as fases é freqüentemente postulado de modo a obedecer à lei de Darcy para meios homogêneos submetidos a uma diferença de pressão:



onde v é a velocidade superficial, ρ_w é a pressão hidráulica e L e K representam, respectivamente, o comprimento e a permeabilidade do meio, e μ é a viscosidade do fluido. A Equação (2) desconsidera as forças inerciais, que se afiguram razoáveis para número Reynolds, $Re = \rho v L / \mu$, menor que a unidade [Bear, 1972; Scheidegger, 1974; Greenkorn, 1986]. τ é a média dos raios do tamanho dos poros³ e ρ é a densidade do fluido. A Equação (2) tem sido estendida a casos em que os termos inerciais são significativos:



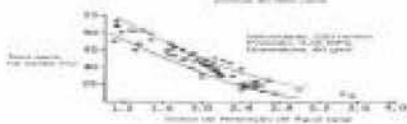
onde a e b são constantes [Scheidegger, 1974; Dullien, 1979]. Esta equação, usualmente chamada de *equação de Forchheimer*, foi proposta na primeira década do século 20 e se aplica a números Reynolds maiores que a unidade. A Equação (2) foi originalmente apresentada por Darcy para meios isotrópicos, porosos e homogêneos⁴. Entretanto, as camadas de fibras são altamente compressíveis, e muitos processos interessantes de separação têm *concentração e composição* não-

² Todavia, nips pressão-controlados também podem passar por melhoramentos em desempenho de desaguamento [Wahlström, 1990]

³ Alguns pesquisadores utilizam, em vez disso, o raio médio das fibras. Contudo, alguns processos modificadores das fibras, como o refino, alteram consideravelmente as condições de fluxo sem que causem mudança apreciável no raio médio das fibras.

⁴ *Homogeneidade* refere-se a propriedade que independe da posição, enquanto *isotropia*, a propriedade que varia com a direção. Como este texto considera apenas heterogeneidades e anisotropias na resistência ao fluxo, ou seja, com relação à permeabilidade, esta propriedade será omitida para fins de simplificação.

constantes e, por conseqüência, permeabilidade variável através do meio. Além disso, a resistência ao fluxo no meio também pode variar segundo a direção. A Equação (2) é estendida a meios heterogêneos e anisotrópicos, sendo expressa na forma diferenciada:



onde K é o tensor da permeabilidade, que deve ser descrito em todo o meio. A lei de Darcy pode, portanto, ser também usada para meios anisotrópicos compressíveis. Alguns pesquisadores têm estudado a influência da *concentração* do meio poroso na permeabilidade mediante utilização de elementos espessos em células de compressão-permeabilidade (CP cells) [Collicut, 1947; Robertson e Mason, 1949; Ingmanson, 1952, 1953; Nilsson e Larsson, 1968; Gren e Ljungkvist, 1983; Ljungkvist, 1983; Carlsson *et al.*, 1983; Rasi *et al.*, 1999]. Os resultados de suas experiências, realizadas com diferentes tipos de polpas, se ajustam bem à Equação (2), o que sugere que, naquelas condições de experimentação, os termos inerciais podem ser negligenciados.

De fato, Mantar *et al.* [1995] e Wildfong *et al.* [2000b] concluíram que os efeitos inerciais podem estar presentes, mas desempenham apenas função secundária no fluxo através das camadas de fibras. Para adaptar dados de permeabilidade medida a diferentes concentrações, são utilizadas várias relações. Normalmente, quando com consistências típicas de prensagem úmida, o ajuste é feito por meio de relações empíricas [Nilsson e Larsson, 1968; Carlsson *et al.*, 1983; Bloch, 1995], ainda que tenha havido, em tempos recentes, progressos notáveis na modelação do fluxo líquido através de um meio não estruturado [Koponen *et al.*, 1998]. Para a descrição dos dados observados a consistências típicas de formação da folha, são adotadas

considerações teóricas a suporte de equações semi-empíricas.

O modelo teórico de Kozeny e Carman é o mais utilizado. Trata-se de uma extrapolação da equação de Poiseuille para meio poroso mediante aplicação do conceito do raio hidráulico [Dullien, 1979]. Segundo esta formulação, a permeabilidade, K , como função da concentração (ou porosidade), é dada por:



onde k_0 é a constante de Kozeny, S_v é a área superficial específica – ou seja, a área externa por unidade de volume – em contato com o fluido, e ϕ_{ext} é a porosidade externa, isto é, a relação entre o volume disponível para o fluxo e o volume total. Segundo medições feitas por Ingmanson *et al.* [1959], k_0 é aproximadamente constante ($= 5,55$) para valores até 0,8 de porosidade efetiva, acima do qual o k_0 aumenta fortemente. A porosidade externa, ϕ_{ext} , pode ser expressa como $1 - ac$, onde a é o volume efetivo e c é a concentração. Efetuada sua substituição na Equação (5) e fazendo-se alguns ajustes, resulta:

$$(Kc^2)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{1}{5.55S_w} \right)^{\frac{1}{3}} (1 - ac) \quad (6)$$

onde $S_w = S_v a$ é a área superficial externa por unidade de peso de material fibroso. Robertson e Mason [1949] examinaram a permeabilidade de polpas kraft e sulfito refinadas até diferentes graus de drenabilidade, em faixa de consistência entre 5% e 12%. Calcularam os parâmetros de permeabilidade a e S_w com base em suas medições para ensaios com duas polpas kraft e cinco polpas sulfito. Os dados de permeabilidade de Robertson e Mason [1949] e também os de Ingmanson [1952] estão em boa concordância com a Equação (6) para consistências até ligeiramente acima de 15% de sólidos para a polpa sulfito, Figura 2. Todavia, para viabilizar a Equação (6), foi assumido como constante o volume não disponível para o fluxo nas camadas de fibras, o que, evidentemente, não é verdade em condição de alto teor de sólidos.

Com o progredir da compressão da camada fibrosa, o volume específico das fibras diminui, o que, em conseqüência, deverá expulsar água das paredes das fibras. É também

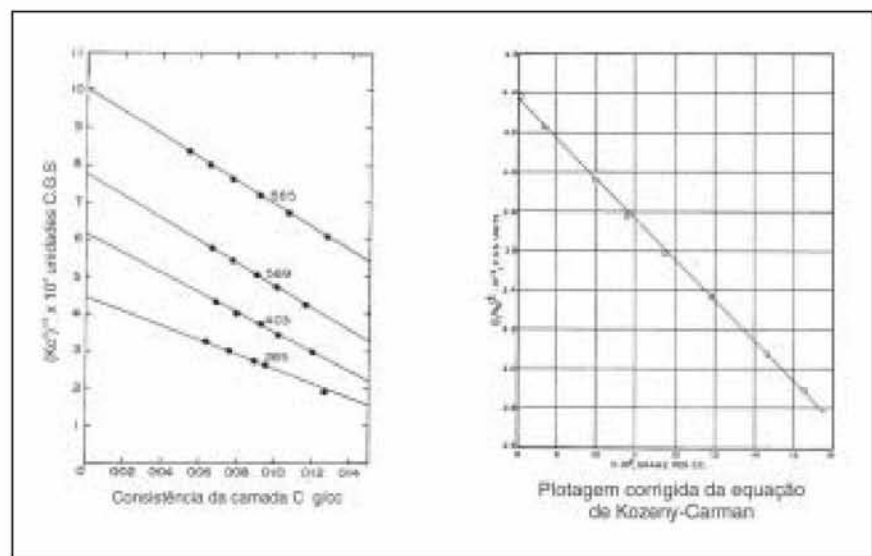


Figura 2. Esquerda: dados de permeabilidade corrigidos em função da consistência para uma série de amostras refinadas de polpa sulfito. Os números correspondentes ao grau de refino são indicados no diagrama [Robertson e Mason, 1949]. Direita: Resultados semelhantes de Ingmanson [1952].

possível que a água realmente flua através das fibras nas condições típicas de prensagem [Gustafsson *et al.*, 2001; Lucisano e Martinez, 2001]. Ambos estes fenômenos estariam a sugerir valores de permeabilidade um tanto mais altos que aqueles derivados da equação de Kozeny-Carman.

De fato, ela fornece permeabilidade negativa para concentrações, c , mais altas que $1/a$, e o desvio aumenta com a elevação do teor de sólidos. Por isso, Meyer [1969] propõe que a e S_w seriam uma função da carga na camada de fibras. Wang *et al.* [2002] propõem outra solução para o problema: sugerem uma expressão exponencial para ϕ_{ext} como uma função da consistência, para evitar que a porosidade atinja zero.

Compressão da folha de fibras

Camadas de fibras são altamente compressíveis, e a tensão no tecido fibroso induzida pelo fluxo de líquido através do meio poroso tem efeito cumulativo, dando origem a um meio poroso heterogêneo. Também, como já visto, a permeabilidade depende da porosidade. Por isso, para poder quantificar a taxa de desagregamento num meio heterogêneo com o auxílio da Equação (4), é necessária uma descrição matemática da concentração como função da pressão da camada de fibras.

Cargas baixas

Vários pesquisadores têm relatado o comportamento sob condição de carga-deformação da camada de fibras quando em estado de baixa consistência e submetida a carga mecânica leve [Campbell, 1947; Ingman, 1952; Jones, 1963; Han, 1969; Gren e Ljungkvist, 1983; Vomhoff e Schmidt, 1997; Jong, 1998; Boxer e Dodson, 1999]. Normalmente, a consistência é expressa como função da

pressão, σ , conforme uma lei de potência [Campbell, 1947]:

$$c = M \left(\frac{\sigma}{p_r} \right)^N, \quad (7)$$

onde c é a consistência, p_r é uma pressão de referência e M e N são constantes de ajuste⁵ [Gren e Ljungkvist, 1983]. Na seção formadora, as camadas de fibras têm baixa consistência (normalmente abaixo de 20%). Nesta condição, a camada fibrosa não é comprimida com uma intensidade que permita expelir considerável quantidade de água do interior das paredes da fibra. Por isso, não se espera que, nesta situação, o comportamento sob carga-deformação da camada de fibras dependa da faixa de consistência.

Wilder [1960] pesquisou a influência da deformação no comportamento da camada de fibras sob pressões leves. Para curtos tempos de compressão (<40 ms), a deformação é relativamente de pouca importância. Todavia, com base em experiências de modelação de drenagem de fluxo-constante, Sayegh e Gonzalez [1995] obtive-

ram boa concordância ao assumir que a camada de fibras tem atuação igual àquela de um elemento de Maxwell. Contudo, também se poderia suspeitar que isso se deva à distribuição de finos no sentido da espessura (veja a seção *Fluxo com compressão*). Jones [1963] observou histerese no desempenho da compressibilidade da camada de fibras (**Figura 3**). Resulta claro que a deformação depende não apenas da pressão aplicada, mas também do desenvolver da compressão. Pode ser, por isso, preferida a seguinte notação:

$$\sigma \equiv \sigma[\phi], \quad (8)$$

onde os colchetes significam que σ em determinado tempo depende de todo o histórico de ϕ até o instante dado.

Cargas altas

Em camadas fibrosas saturadas, a água que se situa nos interstícios entre fibras e nos lumens das fibras é chamada água *extra-fibra*. Por outro lado, uma considerável quantidade de água é retida, também, na estrutura porosa da

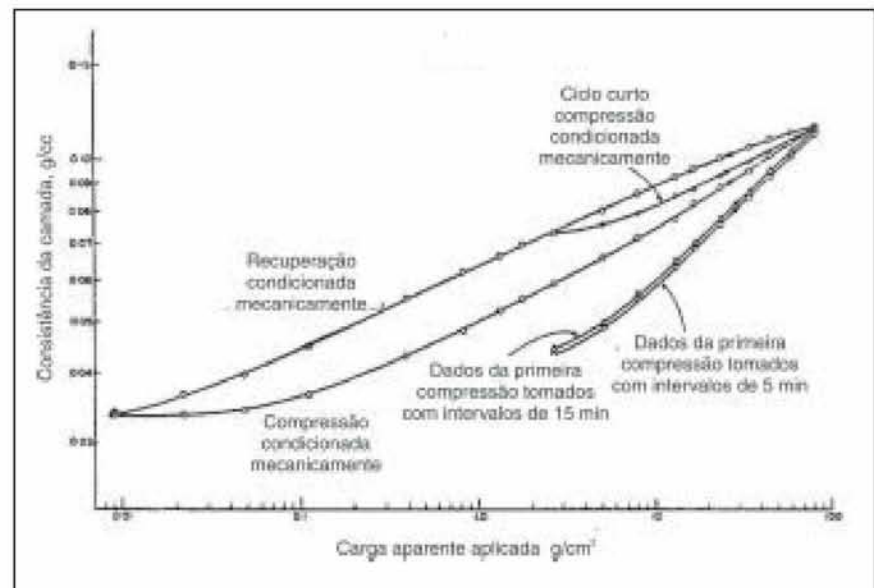


Figura 3. Comportamento da histerese de concentração de sólidos em oposição a pressão aplicada, referente a camada de fibras de madeira inicial de *Pinus taeda* [Jones, 1963]

⁵ p_r é introduzido apenas para evitar unidades complexas em M .

parede da fibra, a água *intra-fibra*. A quantidade de água *intra-fibra* pode ser avaliada por várias técnicas [Lindström, 1986], e, entre as mais comuns, está a do *índice de retenção de água* (WRT-Water Retention Value). A principal evidência a confirmar a importância do fluxo da água *intra-fibra* na prensagem se origina de ensaios que demonstram a extração da água das paredes das fibras [Carlsson *et al.*, 1977]. Portanto, o *fluxo de água intra-fibra* pode ter participação importante no processo de desaguamento que se realiza na seção de prensas úmidas. Adicionalmente, o efeito da prensagem em relação à água *intra-fibra* tem sido demonstrado por meio de técnicas variadas [Laivins e Scallan, 1993b; Maloney *et al.*, 1997; Häggkvist, 1999]. Os resultados de Maloney *et al.* [1997] e de Häggkvist [1999] demonstram que se fecham primeiramente os poros maiores, seguidos, em progressão, pelos menores, e que alguns ficam permanentemente fechados devido a endurecimento ou ossificação (*hornification*). Contudo, alguns poros *intra-fibra* podem ser reabertos por dispersão [Maloney *et al.*, 1997].

Está também demonstrado que a secagem e o refino influenciam a quantidade de água *intra-fibra* [Laivins e

Scallan, 1993a, 1995]. Pode-se argumentar que a água no interior da parede da fibra é de remoção mais difícil que a água *inter-fibras*. Por isso, nos nips das prensas, onde é disponível um pulso de pressão limitado, a água *intra-fibra* parece limitar o teor de sólidos que se pode alcançar na seção de prensas (Figura 4).

Por isso, é agora largamente aceito que o efeito do fluxo da água *intra-fibra* deveria ser incluído na descrição do comportamento sob carga-deformação da camada de fibras. Wahlström [1990] propôs a seguinte decomposição da pressão total:

$$\sigma_T = p_w + \sigma_s = p_w + \sigma_{s,eq} + \sigma_{s,fl}, \quad (9)$$

onde a pressão na camada de fibras é decomposta em $\sigma_{s,eq}$ e $\sigma_{s,fl}$, a curva de compressão estática e a resistência à compressão devida ao fluxo para o exterior da parede da fibra, respectivamente. Medições dinâmicas do comportamento da camada de fibras sob carga-deformação comprovaram considerável grau de dependência [Ellis, 1981; Szikla e Paulapuro, 1989; Vo-

mhoff, 1998; Lobosco, 2000]. Ainda durante a fase de alívio da pressão, ocorre, normalmente, pequena ou nenhuma expansão da camada de fibras antes de a pressão aplicada se reduzir a zero [Vomhoff, 1998]. Contudo, certa expansão, lenta mas significativa, realmente acontece se a pressão sobre a folha for retirada por completo.

Fluxo com compressão

Em vários ensaios, e por razões práticas, a resistência ao fluxo na camada de fibras é medida por filtração, em que se estabelece uma considerável compressão da camada fibrosa devido ao fluxo. A resistência ao fluxo na camada de fibras é, então, expressa em termos de *resistência ao fluxo específica*⁶, R_w , independentemente da espessura, que é função da queda de pressão através do meio e é dada por:

$$R_w = \frac{\Delta p_w}{v\mu w}, \quad (10)$$

onde v é a velocidade superficial e w é a gramatura [Ingmanson, 1952]. Apesar da compressão da camada de fibras, o parâmetro da permeabilidade do meio pode ser obtido via resistência específica ao se tomar em consideração a deformação da camada de fibras com auxílio da Equação (7). Ingmanson [1952, 1953] obteve parâmetros de permeabilidade em boa concordância com os resultados de permeabilidade dados pela célula de compressão-permeabilidade (CP cells). Contudo, é normalmente estudada apenas a resistência específica da camada de fibras sob diferentes condições.

Herzig e Johnson [1999] têm estudado a resistência ao fluxo causada pelas telas e seus resultados se ajustam bem à Equação (3), ou seja, de Forchheimer. Wildfong *et al.* [2000a] chegaram à mesma conclusão com base em resultados obtidos com aparelho laboratorial para testes de drenagem. Contudo, a influ-

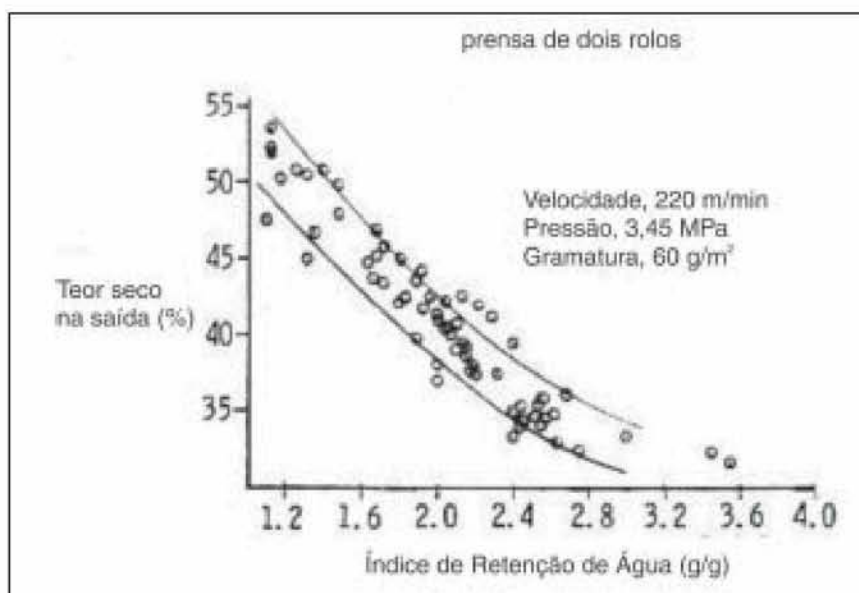


Figura 4. Influência do índice de retenção de água no conteúdo final de sólidos em diferentes tipos de polpas

ência da resistência ao fluxo causada pela tela foi muito maior do que poderia ser computado apenas somando-se à resistência da camada de fibras [Meyer, 1969; Radvan, 1980]. A interação entre camada de fibras/tela implica resistência adicional ao fluxo, devido ao efeito de auto-reposição, ou seja, as fibras se depositam nos pequenos espaços das telas.

Este fenômeno tem sido constatado por Han desde 1952. Seus dados, obtidos com aparelho experimental de formação a vácuo, exibem um rápido crescimento da resistência até camada de 10-20 g/m², aproximadamente da mesma ordem que pode ser verificada nas medições de Herzig e Johnson [1999] e Jong *et al.* [1999]. Os resultados de Jong *et al.* mostram rápido crescimento da resistência até a formação de uma camada de aproximadamente 20 g/m², seguida de diminuição monotônica. Contudo, nenhum deles atribui tal fenômeno a uma *resistência interfacial*.

De fato, expressando-se a resistência efetiva como a soma da resistência interfacial, R_i , e da resistência da camada, R_w , para gramaturas acima de w_0 , resultará:

$$R_{eff} = \frac{R_i w_0 + R_w (w - w_0)}{w}, \quad (11)$$

onde w_0 é a gramatura da camada interfacial (aqui $w_0 \sim 20$ g/m²) e R_{eff} é a resistência global (efetiva) da camada e da interface. A resistência interfacial, R_i , é dada pela resistência média na interface, w_0 , (Figura 5). A Equação (11) pode ser aplicada aos resultados experimentais de Han [1962] e de Jong *et al.* [1999]. Para pequenas R_i ou grandes⁷ w , R_{eff} é aproximadamente R_w . Para concluir, a resistência ao fluxo causada pelas telas é significativa somente

para os casos de polpas de desaguoamento rápido e sobre a área inicial de impingimento [Herzig e Johnson, 1999]. Mais: no desaguoamento mecânico, a resistência interfacial pode ter participação importante, embora os dados disponíveis a respeito não sejam muitos e também não se conheça um procedimento definido para sua modelação.

Mantar *et al.* [1995] avaliaram a resistência ao fluxo da camada de fibras utilizando um aparelho de ensaio de drenagem a pressão constante. Eles constataram aumento de resistência ao fluxo com o crescimento do teor de finos na polpa da camada de fibras. Em contraste com Jong *et al.* [1999], a resistência avaliada não inclui a contribuição da resistência interfacial, que foi computada junto com a resistência da tela formadora. Em consequência, Mantar *et al.* [1995] não observam a configuração decadente mostrada por Jong *et al.* [1999]. Os resultados de Mantar *et al.* [1995] expõem aumento

da resistência com a gramatura em polpas onde há presença de finos e, para uma polpa não-refinada, resistência aproximadamente constante. Atribuem tal fenômeno ao aumento da captura de finos com a gramatura. Isso é confirmado pelos resultados de Han [1962] e Wildfong *et al.* [2000b, a], embora, no caso deles, a suposta resistência interfacial tenha sido incluída na resistência. A resistência interfacial, contudo, deve ter sido pequena. Han [1962] e Wildfong *et al.* [2000b] mediram a retenção como função da gramatura e observaram que a retenção aumenta com a elevação da gramatura, o que foi considerado como a razão do crescimento da resistência ao fluxo.

Mantar *et al.* [1995] também estudaram a influência da concentração de materiais inertes na resistência da camada de fibras e observaram o valor mais alto a aproximadamente 0,5% para polpa kraft de coníferas branqueada.

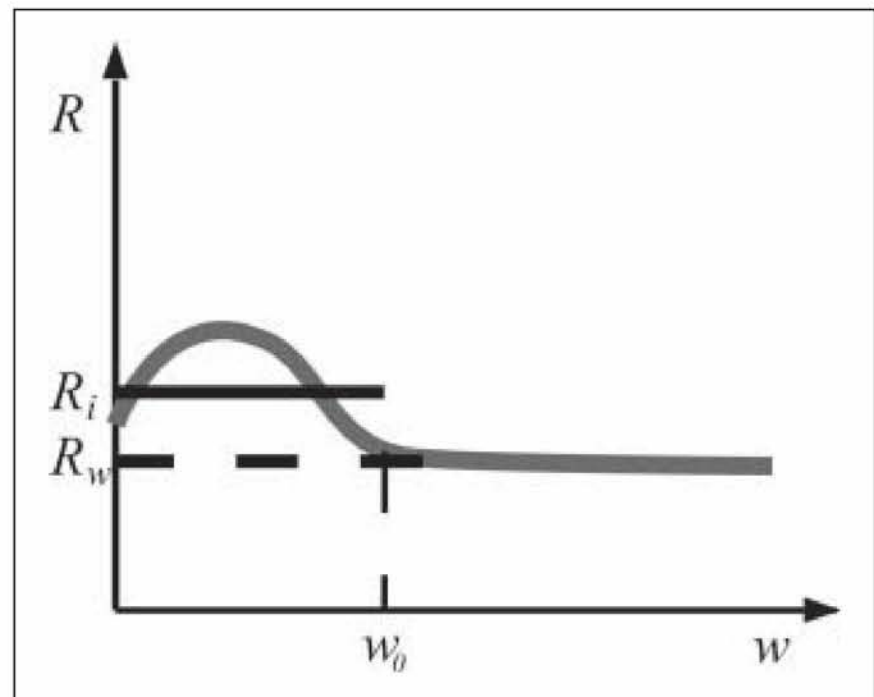


Figura 5. Uma possível dependência do incremento da resistência específica, R , na gramatura, w , para uma polpa não-refinada [Norman, 2004].

⁶ Quando, para simplificação, for utilizado o termo *resistência*, trata-se da resistência específica do fluxo.

⁷ As células CP trabalham, usualmente, com gramaturas altas.

A consistências mais baixas, a concentração de finos diminui, ao passo que com consistências mais altas há aumento de floculação. Ambas as situações tendem a diminuir a resistência ao fluxo. Finos e floculação podem, também, ter importante influência na resistência ao fluxo. É constatado que uma camada de fibras com consistência constante pode não ter permeabilidade constante devido a possíveis mudanças no estado de floculação e no conteúdo de finos. Conseqüentemente, os resultados de Sayegh e Gonzalez [1995] poderiam ter interpretação diferente daquela dos autores, que atribuíram o aumento da resistência ao fluxo à compressão viscoelástica da camada de fibras. Contudo, em oposição ao que se poderia esperar intuitivamente, a pasta mecânica apresentou um parâmetro viscoso aproximadamente cinco vezes maior que aquele de uma pasta kraft não-branqueada, que contém muito mais água intra-fibra. Além disso, a contribuição viscosa aumentou com a diminuição da drenabilidade CSF (*Canadian Freeness*), a qual deveria, porém, se correlacionar com a quantidade de material fino existente. Em contração, o aumento da resistência ao fluxo poderia ser atribuído à crescente retenção de finos, que intensificam a resistência ao fluxo, como têm demonstrado os resultados experimentais de Han [1962], Mantar *et al.* [1995] e Wildfong *et al.* (2000b, a).

MODELAÇÃO

Formação

Todos os modelos que consideram o efeito da deformação de camadas de fibras aplicam uma lei de potência para descrever a relação entre a concentração e a pressão na camada de fibras [Meyer, 1962; Emmmons, 1965; Martinez, 1998; Zahrai *et al.*, 1998]. Até o presente, não se conhecem modelos que considerem o comportamento da camada de fibras durante o alívio ou a reaplicação da pressão. Esses modelos estão, portanto, limitados a situa-

ções nas quais a carga aplicada à camada de fibras nunca diminui, não sendo possível, por isso, sua utilização no estudo do desaguamento das camadas de fibras depois que elas deixam o rolo de formação, por exemplo.

Vários pesquisadores elaboraram modelos para o desaguamento em rolos formadores [Baines, 1967; Wahren *et al.*, 1975; Hauptman e Mardon, 1973; Norman, 1979; Miyanishi *et al.*, 1989] e a distribuição da pressão na região das lâminas [Zhao e Kerekes, 1995; Nigam e Bark, 1997; Zahrai *et al.*, 1997; Holmqvist, 2002], sem, contudo, considerar a deformação da camada de fibras e o efeito na permeabilidade. Existem, porém, algumas exceções. Martinez [1998] desenvolveu um modelo, fundamentado na Física, da taxa de desaguamento em *rolos formadores* de telas duplas, no qual considera a deformação da camada de fibras. O modelo desconsidera a derivada de tempo, significando que o termo da difusão equilibra completamente o termo da convecção. Conforme assinalado por Boxer *et al.* [2000], esta premissa significa, implicitamente, que o modelo pode operar somente com pressões constantes como a condição existente no ponto limítrofe das telas.

Prensagem úmida

São vários os modelos propostos para a prensagem úmida. A maioria deles, no entanto, apresenta relações de carga-deformação da camada de fibras onde o grau de dependência é omitido. Alguns consideram a camada de fibras somente elástica [Roux e Vincent, 1991; Bloch, 1995], ao passo que outros levam também em conta (mas sem grau de dependência) a plasticidade [El-Hosseiny, 1990; Kataja *et al.*, 1996; Riepen *et al.*, 1996; Bezanovic *et al.*, 2002]. Em oposição a esses, Ceckler e Thompson [1982] apresentaram um modelo de prensagem úmida que inclui uma descrição de grau de dependência na compressão da camada de

fibras. Esta descrição exhibe uma parte elástica, atribuída à flexão das fibras, e uma parte grau-dependente, atribuída à extração de água do interior das fibras. Esta descrição matemática estabelece, contudo, uma expansão demasiado grande durante o alívio da pressão, fato que não tem sido comprovado em experiências [Vomhoff, 1998].

McDonald e Kerekes [1991a,b, 1994] apresentaram uma solução alternativa para inclusão do desaguamento da água intra-fibra: o *modelo de permeabilidade decrescente*. Esses pesquisadores sugerem um modelo de prensagem úmida no qual se considera a resistência aos fluxos intra e extra-fibra, mas se ignora a rigidez mecânica da camada de fibras. O modelo tem utilidade para a determinação do teor de sólidos dentro das regiões de operacionalidade em que os parâmetros foram estimados, mas, ainda assim, oferece pouca informação quanto ao fenômeno físico real que acontece durante a consolidação da folha.

Para concluir, modelos da reologia da camada de fibras que possam ser utilizados em modelos de prensagem úmida confiáveis e fundamentados na Física são necessários, mas ainda não disponíveis. Realmente, conforme Börje Wahlström [1990]:

“Nenhuma das tentativas seriamente voltadas à modelação matemática da remoção de água por prensagem [...] tem levado em consideração a água na parede da fibra e, por isso, tem sido incapaz de descrever apropriadamente a prensagem úmida”.

RESUMO

Formação – Há resultados experimentais qualificados que dão suporte à modelação do desaguamento mecânico considerando-se a suspensão fibrosa e a tela como um *continuum*. Contudo, pode-se chegar às seguintes conclusões, que não são levadas em consideração na modelação do desaguamento:

- as folhas de fibras são heterogêneas devido à floculação e à distribuição irregular dos finos;

- a resistência ao fluxo interfacial, ou seja, devida à primeira camada de fibras formada sobre a tela (10-20 g/m²), pode desempenhar função importante;

- a relação de carga-deformação pode ser considerada de efeito não-dependente, mas apresenta histerese.

Prensagem úmida – na prensagem úmida, a água intra-fibra é extraída da parede da fibra por compressão, o que causa uma relação carga-deformação com grau de dependência na camada de fibras. Observa-se também grau de dependência na lenta, mas significativa, expansão que acontece depois de terminado o pulso de pressão. Não se conhece modelo matemático que enfoque este fenômeno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

J.-L. AURIAULT and E. SANCHEZ-PALENCIA. Etude du comportement macroscopique d'un milieu poreux saturé déformable. *J. Mécanique*, 16(4):575 - 603, 1977. in French.

W. D. BAINES. The papriformer part ii. ow in the formation zone of a twinwire machine. *Pulp and Paper Magazine of Canada*, pages T497 - T505, October 1967.

J. BEAR. *Dynamics of Fluids in Porous Media*. Dover, New York, 1972.

D. BEZANOVIC, E. F. KAASSCHIETER, and C. J. VAN DUIJN. A one-dimensional model for pressure drying of paper. In *Progress in Paper Physics Seminar*, pages 250 - 253, Syracuse, NY, 2002.

M. A. BIOT. General theory of three-dimensional consolidation. *Journal of Applied Physics*, 12:155 - 164, February 1941.

J.-F. BLOCH. *Transferts de Masse et de Chaleur dans les Milieux Poreux Deformables Non Saturés: Application au Pressage du Papier*. PhD thesis, Institut National Polytechnique de

Grenoble – Centre Technique du Papier, Grenoble, 1995. in French.

T. BOXER and C. T. J. DODSON. Compression of fibre networks by ultracentrifugation. In *TAPPI International Paper Physics Conference*, pages 391 - 402, San Diego, CA USA, 1999.

T. BOXER, C. T. J. DODSON, and W. W. SAMPSON. Analytic solution to the martinez dewatering equations for roll gap formers. *Journal of Pulp and Paper Science*, 26(11):391-394, November 2000.

L. H. BUSKER and D. C. CRO-NIN. The relative importance of wet press variables in water removal. In *Int. Water Removal Symp.*, pages 25 - 34, Vancouver, 1982.

W. B. CAMPBELL. The physics of water removal. *Pulp and Paper Magazine of Canada*, 48(3):103 - 109, 122, 1947.

G. CARLSSON, T. LINDSTRÖM, and T. FLORÉN. Permeability to water of compressed pulp fibre mats. *Svensk Papperstidning*, 86 (12):R128 - R134, 1983.

G. CARLSSON, T. LINSTRÖM, and C. SÖREMARK. Expression of water from cellulosic fibers under compressive load. In *Fibre-Water Interactions in Papermaking*, volume 1, pages 389 - 409, Oxford, 1977. British Paper and Board Industry Federation.

W. T. CECKLER and E. V. THOMPSON. The university of maine at orono wet pressing project. Technical Report DOE/CS/40064-3 (DE83009342), United States Department of Energy, Orono, 1982.

S. A. COLLICUTT. Drainage characteristics of groundwood pulp. *Pulp and Paper Magazine of Canada*, pages 66 - 78, January 1947.

F. A. L. DULLIEN. *Porous Media: Fluid Transport and Pore Structure*. Academic Press, Inc., San Diego, CA, 1979.

F. EL-HOSSEINY. Compression behaviour of press felts and wet webs. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 5(1):28 - 32, 1990.

E. R. ELLIS. Compressibility and Permeability of never Dried Bleached

FABIO PERINI
BRASIL

FABIO PERINI • CASMATIC • DIATEC



Entendemos que a base do sucesso de nossa liderança no mercado é oferecer produtos e serviços que aumentem a eficiência operacional de nossos clientes, superar suas expectativas e ter um relacionamento de amizade e confiança.

Agradecemos a todos os clientes, parceiros e amigos que visitaram nosso Stand e prestigiaram nossos workshops durante a 38ª ABTCP 2005. Obrigado por sua participação!

Nós estamos aqui por você. Para ser parte do seu sucesso.



Fabio Perini S.A.
Av. Santos Dumont, 2283
88223-001 • Joinville/SC • Brasil
Tel.: +55 (47) 2101 0500
Fax: +55 (47) 479 0258
fabio.perini@fpbr.kpl.net
www.kpl.net

CAS
MATIC
DIATEC
FABIO PERINI
CASMATIC
DIATEC



PARTE DO SEU SUCESSO

KÖBER
PAPERLINK

Softwood Kraft Pulp and its Application to the Prediction of Wet Press Behavior. PHD THESIS, University of Maine at Orono, Orono, December 1981.

H. W. EMMONS. The continuum properties of fibre suspension. *Tappi Journal*, 48(12):679 - 687, December 1965.

R. A. GREENKORN. Principles of Flow Through Porous Media, pages 499 - 565. Gulf Publishing Co., Houston, 1986.

U. GREN and K. LJUNGKVIST. Compressibility and permeability of chemical pulps. some notes on the effect of beating. *Cellul. Chem. Technol.*, 17 (Sept. - Oct.):515 - 523, 1983.

J.-E. GUSTAFSSON, V. KAUL, and V. LOBOSCO. Densification and dewatering in high temperature wet pressing. In *The Science of Papermaking*, volume 1, pages 149 - 155. FRC, 2001.

M. HÄGGKVIST. Porous structure in paper studied by nmr. *Teknologicie Licentiate Thesis*, 1999. Royal Institute of Technology - Division of Pulp and Paper.

S. T. HAN. Drainage in a vacuum former. *Tappi Journal*, 45(4):292 - 295, April 1962.

S. T. HAN. Compressibility and permeability of fibre mats. *Pulp and Paper Magazine of Canada*, pages T134 - T146, 1969.

E. G. HAUPTMANN and J. MARDON. The hydrodynamics of curved wire formers. *Pulp and Paper Magazine of Canada*, 74(2):72 - 77, February 1973.

R. HERZIG and D. B. JOHNSON. Investigation of thin fiber mats formed at high velocity. *Tappi Journal*, 82(1):226 - 230, January 1999.

R. W. HISEY. An investigation of the mechanism of dewatering of compressible beds. *Tappi Journal*, 39(10):690 - 696, October 1956.

C. HOLMQVIST. Modelling of the pressure distributions in twin-wire blade formers. *Licentiate Thesis*, 2002. Royal Institute of Technology, Stockholm.

W. L. INGMANSON. An investigation of the mechanism of water re-

moval from paper slurries. *Tappi Journal*, 35(10):439 - 448, 1952.

W. L. INGMANSON. Filtration resistance of compressible materials. *Chem. Eng. Prog.*, 49(11):577 - 584, November 1953.

W. L. INGMANSON, B. D. ANDREWS, and R. C. JOHNSON. Internal pressure distribution in compressible mats under uid stress. *Tappi Journal*, 42 (10):840 - 849, 1959.

R. L. JONES. The effect of the structure properties on the compression response of fiber beds. *Tappi Journal*, 46(1):20 - 28, 1963.

J. H. JONG. Characteristics of Jet Impingement, Drainage and Compression in a Forming Roll of a Twin-wire Machine. PhD thesis, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto, Toronto, 1998.

J. H. JONG, W. D. BAINES, and I. G. CURRIE. Experimental characteristics of forming fabrics and fibre mats. *Journal of Pulp and Paper Science*, 25(3): 95 - 99, March 1999.

M. KATAJA, K. HILTUNEN, and T. J. FLOW of water and air in a compressible porous medium. a model of wet pressing. *Journal of Applied Physics*, 25: 1053 - 1063, 1992.

M. KATAJA, J. KIRMANEN, and T. J. HYDROSTATIC and structural pressure in compressed paper webs and press felts. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 10(3):162 - 166, 1995.

A. KOPONEN, D. KANDHAI, E. HELLEN, M. ALAVA, A. HOEKSTRA, M. KATAJA, K. NISKANEN, P. SLOOT, and J. TIMONEN. Permeability of three-dimensional random fibre network. *Physical Review Letters*, 80(4):716 - 719, 1998.

G. V. LAIVINS and A. M. SCALLAN. The mechanism of hornification of wood pulps. In *Products of Papermaking - Tenth Fundamental Research Symposium*, volume 2, pages 1235 - 1260, Oxford, 1993a. FRC.

G. V. LAIVINS and A. M. SCALLAN. Removal of water from pulps by pressing - part i: Inter- and

intra-wall water. In *Engineering Conference*, volume 2, pages 741 - 748, Orlando, 1993b. TAPPI.

G. V. LAIVINS and A. M. SCALLAN. The influence of drying and beating on the swelling of fines. In *Third Research Forum on Recycling*, pages 153 - 161, Vancouver, 1995. Canadian Pulp and Paper Association.

T. LINDSTRÖM. Paper - Structure and Properties, chapter The Concept of Measurement of Fiber Swelling, pages 75 - 98. Marcel Dekker, New York, 1986.

K. LJUNGKVIST. Pulp Characterization by Permeability Measurements. PhD thesis, Department of Chemical Engineering Design, Chalmers, Gothenburg, 1983.

V. LOBOSCO. Archeological model of the paper fibre network in wet pressing. *Teknologicie Licentiate Thesis*, Department of Pulp and Paper Chemistry and Technology, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2000.

M. F. C. LUCISANO and D. M. MARTINEZ. On the characterization of the delamination process during impulse pressing. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 16(4):338 - 344, 2001.

M. A. MACGREGOR. Wet pressing in 1989 - an historic perspective, analysis and commentary. In *Transactions of the 9th Fundamental Research Symposium*, volume 2, pages 511 - 586, London, 1989. Mechanical Engineering Publications Ltd.

T. C. MALONEY, T. LI, U. WEI-SE, and H. PAULAPURO. Intra- and interfibre pore closure in wet pressing. *Appita Journal*, 50(37):301 - 306, 1997.

E. MANTAR, A. CO, and J. M. GENCO. Drainage characteristics of pulp slurries under dynamic conditions. *Journal of Pulp and Paper Science*, 21(2):J44 - J50, February 1995.

D. M. MARTINEZ. Characterizing the dewatering rate in roll gap formers. *Journal of Pulp and Paper Science*, 24(1):7 - 13, 1998.

J. D. MCDONALD and R. J. KERKES. A decreasing permeability model of wet pressing: Applications. In *En-*

gineering Conference, volume 2, pages 559 - 568, Nashville, 1991a. TAPPI.

J. D. MCDONALD and R. J. KERKES. A decreasing permeability model of wet pressing: Theory. In Engineering Conference, volume 2, pages 551 - 558, Nashville, 1991b. TAPPI.

J. D. MCDONALD and R. J. KERKES. A decreasing permeability model of wet pressing with rewetting. In Engineering Conference, pages 109 - 116, Atlanta, GA, 1994. TAPPI.

H. MEYER. A filtration theory for compressible fibrous beds formed from dilute suspensions. *Tappi Journal*, 45(4):296 - 310, April 1962.

H. MEYER. The effect of wire screen on forming fiber mats. *Tappi Journal*, 52(9):1716 - 1723, September 1969.

T. MIYANISHI, I. K., and T. IWATSU. Drainage analysis of curved forming shoes on twin-wire formers. *Tappi Journal*, pages 81 - 85, July 1989.

M. NIGAM and F. BARK. An analytical method to calculate the flow past a blade in twin-wire formers. *Tech. Rep.*, 1997. Department of Mechanics, Royal Institute of Technology.

P. NILSSON and K. O. LARSSON. Paper web performance in a press nip. *Pulp and Paper Magazine of Canada*, 69(24):66 - 73, 1968.

B. NORDSTRÖM and B. NORMAN. Development of the stfi-former. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 9(3):176 - 181, 1994.

B. NORMAN. Principles of twin-wire forming. *Svensk Papperstidning*, 82(11): 330 - 336, 1979.

B. NORMAN. Overview of the physics of forming. In *Fundamentals of Papermaking*, volume 3, pages 73 - 150. Mech. Eng. Publ. Ltd., 1989.

B. NORMAN. Personal communication, 2004.

B. NORMAN and D. SÖDERBERG. Overview of forming literature, 1990 - 2000. In *The Science of Papermaking*, volume 2, pages 431 - 558, 2001.

J. D. PARKER. The Sheet-forming Process. *Tappi Special Technical Association Publication*, Atlanta, 1972.

B. RADVAN. *The Raw Materials and Processing of Papermaking*, volume 1, chapter Forming the Web of the Paper, pages 165 - 208. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1980.

M. RASI, A. KOPONEN, J. ASLTOSALMI, U. TIMONEN, and M. KATAJA. Permeability of paper: Experiments and numerical simulations. In *International Paper Physics Conference*, San Diego, CA, USA., 1999. Forest Products Laboratory.

M. RIEPEN, A. M. J. SINON, and B. M. P. MULDER. The integrated paper machine dewatering model (ipm). In *International Drying Symposium*, volume B, pages 1197 - 1204, Krakow, Poland, 1996.

A. A. ROBERTSON and S. G. MASON. Specific surface of cellulose fibers by liquid permeability method. *Pulp Paper Magazine of Canada*, 50(13):103 - 110, 1949.

J. C. ROUX and J. P. VINCENT. A proposed model in the analysis of wet pressing. *Tappi Journal*, 74(2):189 - 196, 1991.

N. N. SAYEGH and T. O. GONZALEZ. Compressibility of fibre mats during drainage. *Journal of Pulp and Paper Science*, 21(7):J255 - J261, 1995.

A. E. SCHEIDEGGER. *The Physics of Flow through Porous Media*. University of Toronto Press, Toronto, 1974.

Z. SZIKLA and H. PAULAPURO. Compression behaviour of fibre mats in wet pressing. In *Ninth Fundamental Research Symposium*, volume 3, pages 583 - 636, Cambridge, September 1989.

K. TERZAGHI. *Theoretical Soil Mechanics*. John Wiley & Sons, New York, 1944.

H. VOMHOFF. Dynamic Compressibility of Water-Saturated Fibre Networks and Influence of Local Stress Variations in Wet Pressing. PhD thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, 1998.

H. VOMHOFF and A. SCHMIDT. The steady-state compressibility of saturated fibres at low pressures. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 12(4): 267 - 269, 1997.

P. B. WAHLSTRÖM. Our present understanding of the fundamentals of pressing. *Pulp and Paper Magazine of Canada*, 70(10):76 - 96, 1969.

P. B. WAHLSTRÖM. Effect of water in the fibre wall in wet pressing. In *Preprints 44th APPITA Annual General Meeting*, pages A21.1 - A21.24, Rotorua, 1990.

D. WAHREN, L. DUFVA, and B. WAHLSTRÖM. Mechanics of water removal in webster-type formers. *Paper Tech. Ind.*, 16(2):98 - 105, April 1975.

J. WANG, A. N. HRYMARK, and R. H. PELTON. Specific surface and effective volume of water removal of water-swollen pulp fibres by a permeability method. *Journal of Pulp and Paper Science*, 28(1):13 - 16, January 2002.

H. D. WILDER. The compression creep properties of wet pulp mats. *Tappi Journal*, 43(8):715 - 720, 1960.

V. J. WILDFONG, J. M. GENCO, J. A. SHANDS, and D. W. BOUS_ELD. Filtration mechanics of sheet forming. part i: Apparatus for determination of constant-pressure filtration resistance. *Journal of Pulp and Paper Science*, 26(7):250 - 254, July 2000a.

V. J. WILDFONG, J. M. GENCO, J. A. SHANDS, and D. W. BOUS_ELD. Filtration mechanics of sheet forming. part ii: Influence of fine material and compression. *Journal of Pulp and Paper Science*, 26(8):280 - 283, August 2000b.

P. E. WRIST. *Dynamics of Sheet Formation on the Fourdrinier Machine*, volume 2, pages 839 - 888. BPBMA, 1962.

S. ZAHRAI, F. BARK, and B. NORMAN. An analysis of blade dewatering in a twin-wire paper machine. *Journal of Pulp and Paper Science*, 23(9): J452 - 459, 1997.

S. ZAHRAI, M. D. MARTINEZ, and A. A. DAHLKILD. Estimating the thickness of the web during twin-wire forming. *Journal of Pulp and Paper Science*, 24(2):67 - 72, February 1998.

R. ZHAO and R. KERKES. Pressure distribution between forming fabrics in blade gaps formers: Thin blades. *Journal of Pulp and Paper Science*, 21(3):97 - 103, 1995. 