

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE INCENTIVO À PESQUISA E DIVULGAÇÃO
LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS

LPF – SÉRIE TÉCNICA Nº 19

ASPIRAÇÃO DE PONTOAÇÕES

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
José Antonio Lutzenberger

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE
E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
Eduardo de Souza Martins

DIRETORIA DE INCENTIVO À PESQUISA E DIVULGAÇÃO
Bráulio Ferreira de Souza Dias

LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS
Marcus Vinicius da Silva Alves

Comitê Editorial

Cleuber José Delano Lisboa, M.Sc.
Marcos Antonio Eduardo Santana, Ph.D.
Sebastião Kengen, Ph.D.
Tereza Cristina Monteiro Pastore, M.Sc.
Vera Terezinha Rauber Coradin, M.Sc.

Publicação

Ernesto Paz Guimarães - revisor
Tereza Cristina Monteiro Pastore - edição

ASPIRAÇÃO DE PONTOAÇÕES

* Cleuber Delano José Lisboa
* Vera T. Rauber Coradín

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Diretoria de Incentivo à Pesquisa e Divulgação. Laboratório de Produtos Florestais.
Aspiração de pontoações por Cleuber Delano José Lisboa e Vera T. Rauber Coradin. – Brasília: 1991.
16 p. : il. – (IBAMA/DIRPED/LPF, Série Técnica, 19)
1. Madeira – Permeabilidade I Lisboa, Cleuber D. J. II Coradin, Vera T. Rauber, III Título IV Série.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	5
2. PONTOAÇÃO	5
3. ASPIRAÇÃO DE PONTOAÇÕES.....	7
3.1. Mecanismo da aspiração de pontoações areoladas em função da secagem da madeira.....	7
4. FATORES QUE INFLUENCIAM A ASPIRAÇÃO DE PONTOAÇÕES.....	9
4.1. Magnitude das forças que atuam sobre o torus.....	10
4.1.1. Raio capilar.....	10
4.1.2. Tensão superficial	10
4.2. Rigidez da membrana da pontoação.....	11
4.2.1. Densidade	12
4.2.2. Cerne e alburno.....	12
4.2.3. Lenho tardio e inicial.....	12
4.2.4. Temperatura.....	12
4.2.5. Inchamento	13
4.3. Adesão do torus e da aréola da pontoação.....	13
5. DESASPIRAÇÃO	15
6. Referências Bibliográficas	15

RESUMO

O mecanismo da aspiração de pontoações areoladas e os fatores que influenciam na aspiração e desaspiração são analisados neste trabalho, baseado em revisão bibliográfica sucinta. Entre os fatores que influenciam na aspiração de pontoações destacam-se as forças que atuam sobre o torus, a rigidez da membrana e a adesão do torus e da aréola. Destaque especial é dado ao mecanismo de aspiração em função da permeabilidade da madeira.

PALAVRAS-CHAVE: aspiração de pontoações, permeabilidade da madeira .

SUMMARY

The pit aspiration and the factors which affect it are analysed based on available literature on this matter. Among these factors the mainly ones recognised are the forces which tend to pull the torus into contact with pit borders, the rigidity or stiffness of pit membrane and the torus adhesion to the pit borders. Pit deaspiration is also briefly commented. Special attention is placed to the role played by pit aspiration in wood permeability.

KEY WORDS: pit aspiration and deaspiration, wood permeability.

1. INTRODUÇÃO

Os pares de pontoações das paredes celulares adjacentes da madeira principalmente das coníferas, são o caminho natural para o escoamento de líquidos durante a secagem quando da sua impregnação para utilizações diversas. As membranas que separam estas pontoações podem ser freqüentemente aspiradas durante o processo natural de transformação do alburno em cerne ou no decurso do processo de secagem da madeira, dificultando o movimento de líquidos dentro da mesma, ou seja, diminuindo sua permeabilidade. Assim, devido a importância que se reveste o assunto, este trabalho, partindo da descrição da estrutura da pontoação e discutindo a forma de sua ocorrência em diferentes espécies de madeira, se propõe a analisar o fenômeno da aspiração e os fatores que o influenciam. Para tanto, foi utilizada concisa revisão bibliográfica que forneceu dados suficientes ao completo entendimento do mecanismo da aspiração de pontoações.

2. PONTOAÇÃO

Pontoação é o nome dado às aberturas ou lacunas da parede secundária das células, abertas internamente para o lume das células. Seus componentes essenciais são a cavidade da pontoação e a membrana da pontoação. Geralmente, as pontoações de duas células adjacentes ocorrem opostas umas às outras, complementando-se de forma a possibilitar a comunicação intercelular no lenho da madeira (Figura 2.1.a).

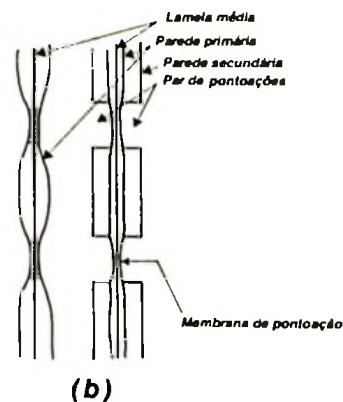
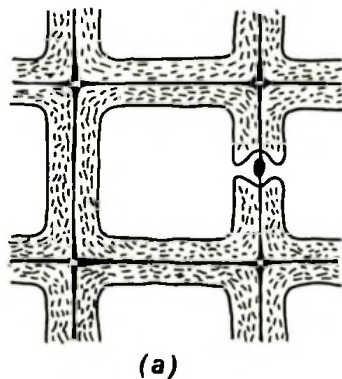


Figura 2.1. a) – Comunicação intercelular por meio de um par de pontoações – Adaptada de Hart (1964); b) Par de pontoação e sua membrana – Adaptada de Esau (1974).

Duas pontoações complementares são corretamente denominadas de um par de pontoações, embora com freqüência referida apenas como pontoação, conforme também adotado neste trabalho.

As duas paredes primárias existentes entre um par de pontoações, juntamente com a lamela média compreendida entre estas duas paredes primárias, formam uma estrutura tríplice característica denominada membrana da pontoação (Figura 2.1.b), a qual diferencia uma pontoação de uma perfuração. Nesta última existe uma abertura completa de uma célula para outra.

Denomina-se pontoação cega aquela pontoação de uma parede celular que não possui a correspondente pontoação na parede da célula adjacente (Figura 2.2.d).

Cada pontoação, isoladamente, é classificada segundo dois tipos principais em função da forma do canal existente ao longo da seção transversal de sua parede secundária. Quando o canal possui um diâmetro uniforme, a pontoação é denominada simples (Figura 2.2.a). Quando a parede secundária se curva sobre a membrana da pontoação formando uma cavidade, a estrutura é chamada pontoação areolada (Figura 2.2.b). Por outro lado, a cavidade delimitada pelo encurvamento da parede secundária e pela membrana da pontoação é denominada de cavidade da pontoação (Figura 2.3). Por sua vez, os pares de pontoações são classificados em três tipos principais, segundo os tipos das duas pontoações opostas que os formam. Assim, duas pontoações simples formam um par de pontoações simples (Figura 2.2.a), duas pontoações areoladas formam um par de pontoações areoladas (Figura 2.2.b), e uma pontoação simples oposto-se a uma pontoação areolada formando um par de pontoações semiareoladas (Figura 2.2.c).

Pontoações areoladas são encontradas em coníferas e folhosas, geralmente entre as células prosenquimáticas ou de

condução, como traqueóides axiais, traqueóides radiais, fibro-traqueóides e vasos. Suas membranas podem apresentar uma zona mais espessa no centro, chamada torus, o qual é sustentado por filamentos microfibrilares denominados margo (Figura

2.3). Estes filamentos microfibrilares se encontram alinhados radialmente e ao acaso formando um entrelaçamento com aberturas de diferentes tamanhos, que oferecem passagem direta ao protoplasma de uma célula a outra.

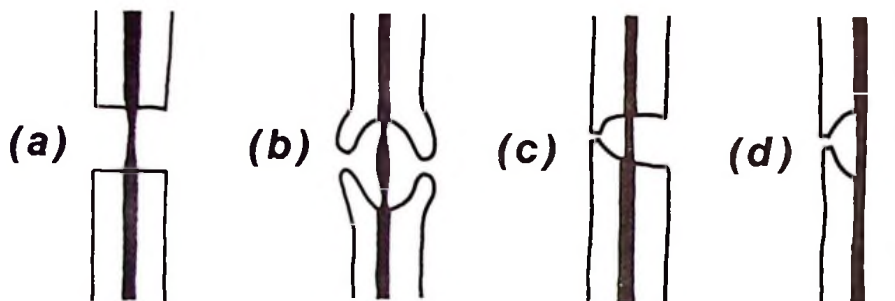


Figura 2.2 – Principais tipos de pontoações e pares de pontoações: a) duas pontoações simples formando um par de pontoações simples; b) duas pontoações areoladas formando um par de pontoações areoladas; c) uma pontoação areolada se opondo a uma pontoação simples em células adjacentes formando um par de pontoações semiareoladas; d) uma pontoação não combinada com outra na célula formando uma pontoação cega – Adaptada da Butterfield & Meylan (1980).

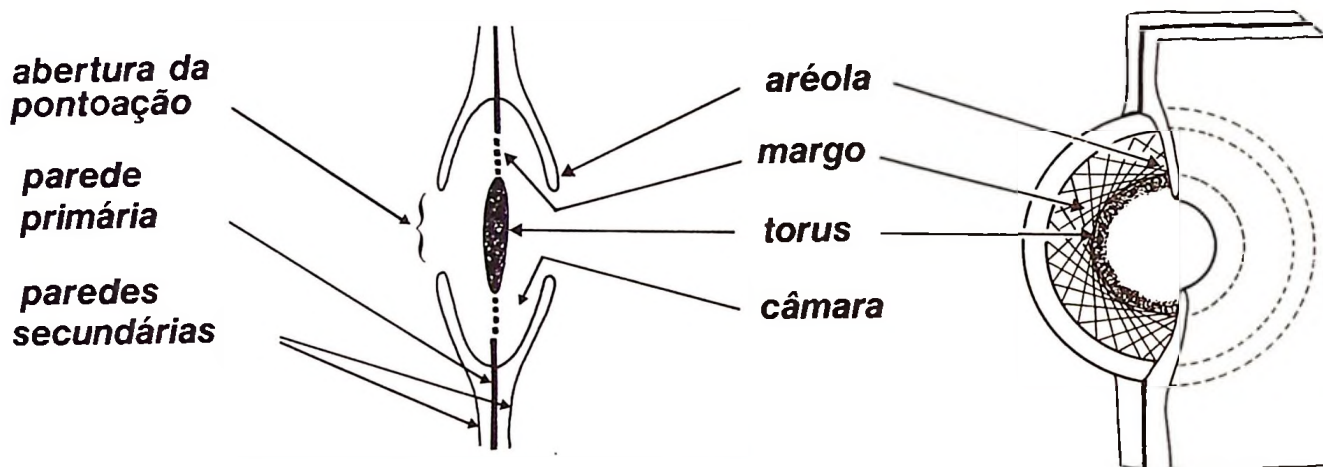


Figura 2.3 – Elementos de uma pontoação areolada – Adaptada de Kollmann (1959).

A existência do torus nas membranas das pontoações areoladas de diferentes espécies de coníferas é discutida por vários autores. Comstock & Côté (1968) citam que as espécies de coníferas mais importantes, em particular aquelas pertencentes à família *Pinaceae*, possuem torus. Kollmann (1968), comentando as investigações realizadas por Liese (1956) acerca de mais de 45 espécies representativas de gêneros de coníferas, diz que o torus bem distinto ocorre somente em *Pinaceae* e *Cephalotaxaceae*. Liese & Bauch (1967) também mencionam a existência do torus bem definido em espécies de *Pinaceae* e acrescentam que outras espécies das famílias *Cupressaceae*, *Podocarpaceae* e *Taxaceae* nem sempre apresentam o espessamento secundário centralizado, característico do torus. Embora Liese (1954), Côté (1958), Frey-Wissling *et alii* (1956) e Harada (1956), citados por Thomas & Nicolas (1966), considerem que a área central das membranas das pontoações seja ocupada pelo torus, sendo o mesmo espessado e não-perfurado para a maioria dos casos de madeiras

de coníferas, Siau (1971) concorda que apenas aparentemente não existem tais aberturas e que pequenas perfurações podem ser encontradas em algumas espécies.

Considerando as observações de Nicholas (1970), Siau acrescenta que as perfurações do torus, por serem muito pequenas, são geralmente invisíveis, mas podem existir como passagens tortuosas entre as microfibrilas orientadas ao acaso, de maneira similar às aberturas existentes entre as fibras de um papel de filtro (ver subitem 3.1).

Kollmann (1968), embora reconhecendo que o conhecimento das estruturas das pontoações areoladas das paredes celulares das madeiras de folhosas esteja baseado em poucos estudos, cita que seus comportamentos parecem assemelhar-se aos das pontoações de coníferas, sendo as principais diferenças observadas quanto à ausência do torus e de aberturas nas membranas. Estas últimas não puderam ser observadas utilizando aumentos de até 100.000 vezes ao do tamanho normal. Siau (1971), em concordância com Kollmann

(1968), também cita a não existência de torus nas pontoações de folhosas, e considera que suas membranas são contínuas através de toda a câmara, embora reconheça que há evidências experimentais de que estas pontoações são permeáveis a líquidos. Da mesma forma, Core, Côté & Day (1979) reforçam que nas pontoações areoladas de folhosas não existem torus e que suas membranas são similares às das pontoações simples. Entretanto, Ohtani & Ishida (1978), citados por Butterfield & Meylan (1980), reconhecem a existência de torus em pontoações areoladas de algumas madeiras de folhosas. Mais recentemente, Wheeler (1983) descreveu o torus nas pontoações areoladas de duas espécies de *Ulmns* e de três de *Celtis*. Roland & Rushing (1987) também observaram torus em membranas de pontoações de *Osmanthus americanus*.

Parameswarean & Liese (1981), utilizando microscopia eletrônica, observaram a existência de espessamento similar ao de um torus nas membranas das pontoações areoladas de dois gêneros de folhosas, *Prunus* e *Pyrus*, o que é também confirmado por Barnett (1987). Parameswaran & Vida Gomes (1981) fizeram a mesma observação, inclusive da ocorrência de aberturas no torus de *Ligustrum lucidum*, utilizando um aumento de apenas 8.500 vezes ao tamanho normal.

As pontoações simples e as semi-areoladas, normalmente encontradas entre células parenquimáticas e entre células parenquimáticas e prosenquimáticas, tanto nas coníferas como nas folhosas, têm estruturas similares, sendo que suas membranas não apresentam o espessamento central característico do torus. Como não possuem torus, estas pontoações não são aspiradas conforme será estudado a partir do item seguinte e, portanto, sem interesse para este trabalho.

3. ASPIRAÇÃO DE PONTOAÇÕES

A aspiração de pontoação é o deslocamento do torus a partir de sua posição inicial central, no interior das cavidades das duas pontoações que formam um par de pontoações, até contactar as aréolas de uma destas pontoações. Nesta situação, o torus é mantido firmemente preso às aréolas, tendo como consequência o estiramento da rede de microfibrilas de que é composto o margo e, fundamentalmente, a obstrução da abertura da pontoação (Figura 3.4).

A aspiração de pontoações pode ocorrer como um fenômeno natural quando da transformação do alburno em cerne, em locais de danos sofridos pelo alburno. Nestes casos, os extrativos da madeira, provavelmente, atuam como adesivos reforçando a ligação entre o torus e a aréola da pontoação. No alburno da madeira em condição verde, entretanto, a maioria das membranas se encontra centralizada nas cavidades das pontoações que são completamente permeáveis quando não obstruídas por outros elementos, como resinas e incrustações. Estas membranas e também as das pontoações do cerne, que estejam centralizadas, podem igualmente ser deslocadas em direção às aréolas das pontoações, permanecendo em contacto com as mesmas em função da secagem da madeira (Sian, 1971).

Não existem dúvidas que a aspiração de pontoações tem efeito muito significativo na permeabilidade da madeira, a qual é uma medida da maior ou menor facilidade de escoamento de fluidos. Como a pontoação é aspirada, o escoamento ocorre através do torus, que é a parte mais espessa da membrana da pontoação, ou por entre o torus e as aréolas, em vez de ocorrer através do relativamente poroso margo (Figura 3.4).

O mecanismo envolvido na aspiração da pontoação como consequência da secagem da madeira é descrito a seguir.

3.1. Mecanismo da aspiração de pontoações areoladas em função da secagem da madeira

Hart & Thomas (1967) propuseram um modelo para explicar a aspiração de pontoações em função da ação de forças capilares desenvolvidas durante o processo de secagem da madeira.

As forças capilares são governadas pela equação universal da tensão capilar, cujo desenvolvimento é apresentado por Siau (1971) e Skaar (1972):

$$P_o - P = (2\delta/r) \cos \theta \quad (3.1)$$

onde,

- P_o = Pressão do ar acima do menisco formado pela água e o ar;
- P = Pressão da água logo abaixo do menisco água-ar;
- $P_o - P$ = Pressão capilar ou tensão capilar;
- δ = Tensão superficial da água;
- r = Raio do tubo capilar ou raio do menisco água-ar;
- θ = Ângulo de contato ou ângulo de umectação que, para a água livre existente na madeira, é igual a 0° , exceto quando na presença de algum extrativo hidrófilo, segundo Skaar (1972).

A Figura 3.1 ilustra o significado destes termos. Pode-se observar pela equação (3.1) e pela Figura 3.1 que a tensão capilar é máxima quando o valor do raio for mínimo, o que acontece quando o raio do menisco água-ar se iguala ao raio do tubo capilar, ou no caso da madeira quando o raio do menisco água-ar (superfície evaporante) se iguala ao raio da abertura por onde está ocorrendo a evaporação. Assim, para o caso em que as superfícies evaporantes são as superfícies água-ar existentes em uma pontoação, estes raios mínimos e, consequentemente, tensões capilares máximas ocorrem quando o raio do menisco água-ar se iguala sucessivamente, em função da contínua evaporação da água, ao raio da abertura da pontoação (Figura 3.4.a), ao raio da abertura formada entre o torus e a aréola (Figura 3.4.b), ao raio da maior abertura existente no margo (Figura 3.4.c) e ao raio da maior abertura existente no torus (Figura 3.4.d e f).

O fato de a tensão capilar máxima ser controlada pela maior abertura existente no margo e no torus, respectivamente, decorre de estarem as mesmas ligadas umas às outras em paralelo, conforme comentado por Stamm (1946 e 1964).

A razão de escoamento em um tubo capilar, i.e., o volu-

me do líquido escoado por unidade de tempo, varia com a quarta potência do raio de acordo com a equação de Poiseuille, conforme demonstração apresentada por Siau (1971):

$$V = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8nL} \quad (3.2)$$

onde,

V = Razão do volume de líquido escoado por unidade de tempo;

r = Raio do tubo capilar;

ΔP = Diferencial de pressão responsável pelo escoamento;

n = Coeficiente de viscosidade do líquido;

L = Comprimento do tubo capilar.

Assim, por exemplo, quando dois tubos capilares de mesmo comprimento, tendo um deles o raio igual a dez vezes o do outro, são ligados em paralelo, a razão de escoamento no capilar de maior raio será 10.000 vezes maior do que no capilar de menor raio, sendo portanto o escoamento neste último quase que insignificante em relação ao escoamento total.

A Figura 3.2 ilustra esta mesma situação sob outro ângulo. Nesta figura, o fluxo de água ocorrerá do capilar de menor raio (2) para o capilar de maior raio (1), devido à pressão hidrostática ao nível de conexão dos dois tubos capilares ser maior em (2) do que em (1) e, então, a evaporação se processará preferencialmente a partir do menisco formado no capilar (1).

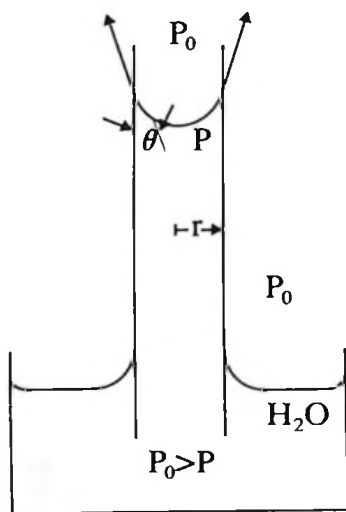


Figura 3.1. Ascensão de água em tubo capilar – adaptada de Siau (1971).

Também a Figura 3.3 mostra duas situações de evaporação da água, onde se pode observar que em superfícies planas as moléculas de um líquido podem escapar a partir de quase todos os ângulos. No caso de superfícies curvas, as moléculas que escapam nas direções que formam pequenos

ângulos com esta superfície podem colidir em um outro local da mesma e serem recapturadas.

Desta forma, para a intrínseca rede de capilares existente na estrutura da madeira, a evaporação da água é controlada pela maior abertura das superfícies evaporantes conectadas em paralelo, sendo que a tensão capilar aumenta quando esta abertura máxima diminui. Para uma mesma abertura, a tensão máxima é alcançada quando o raio do menisco água-ar (superfície evaporante) se iguala ao raio da abertura.

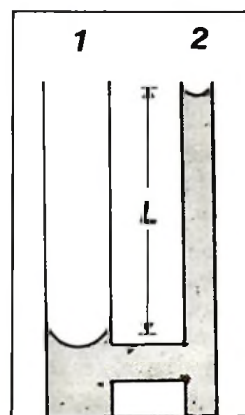


Figura 3.2 – Movimento de água a partir de um tubo capilar menor para outro de maior diâmetro – Adaptada de Skaar (1972).



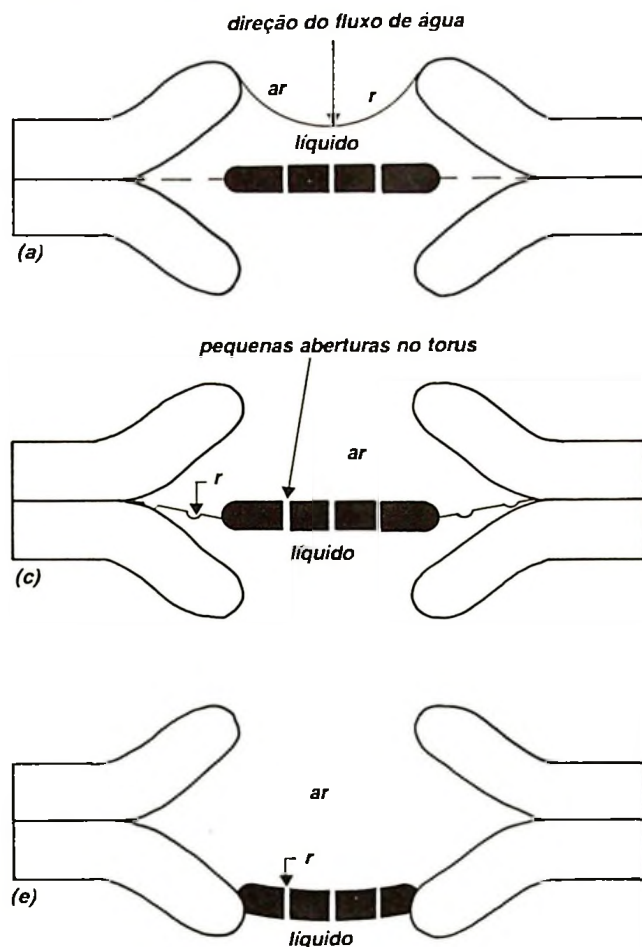
Figura 3.3 – a) caminho de escape de moléculas de um líquido em uma superfície plana; b) em uma superfície côncava – Apresentada por Skaar (1972).

O modelo proposto por Hart & Thomas (1967) para explicar a aspiração de pontoações em função de forças capilares pode agora ser entendido. Este modelo é ilustrado na Figura 3.4 a, b, c e d, conforme apresentado por Siau (1971)

Na Figura 3.4.a, um menisco de raio relativamente grande é formado na abertura da pontoação. Em b, um menisco anelar, com um raio de evaporação bem menor do que em a, é formado entre o torus e a aréola da pontoação, originando, portanto, uma tensão capilar bem maior. Após o esvaziamento da cavidade superior da pontoação, a água começa a fluir pelas pequenas aberturas do margo (Figura 3.4.c.). Estas aberturas provocam uma tensão ainda maior, capaz de forçar a membrana da pontoação em direção ao lume da célula cheia de água. Este processo continua até que a membrana seja aspirada. Nesta situação, o torus cobre horizontalmente a abertura da pontoação, como ilustrado em d.

Existem evidências do encurvamento do torus para den-

tro da abertura da pontuação (Figura 3.4.e), o que poderia ser causado pela tensão capilar maior criada em função das aberturas menores existentes no torus em comparação com as do margo, de acordo com Nicholas (1970), citado por Siau (1971) e já comentado no item 2.



A pontuação totalmente aspirada, com o torus completamente encurvado, é ilustrada na Figura 3.4.f.

A proposição de que o encurvamento do torus possa ser causado pelo aumento da tensão capilar em função das pequenas dimensões das aberturas existentes no mesmo, con-

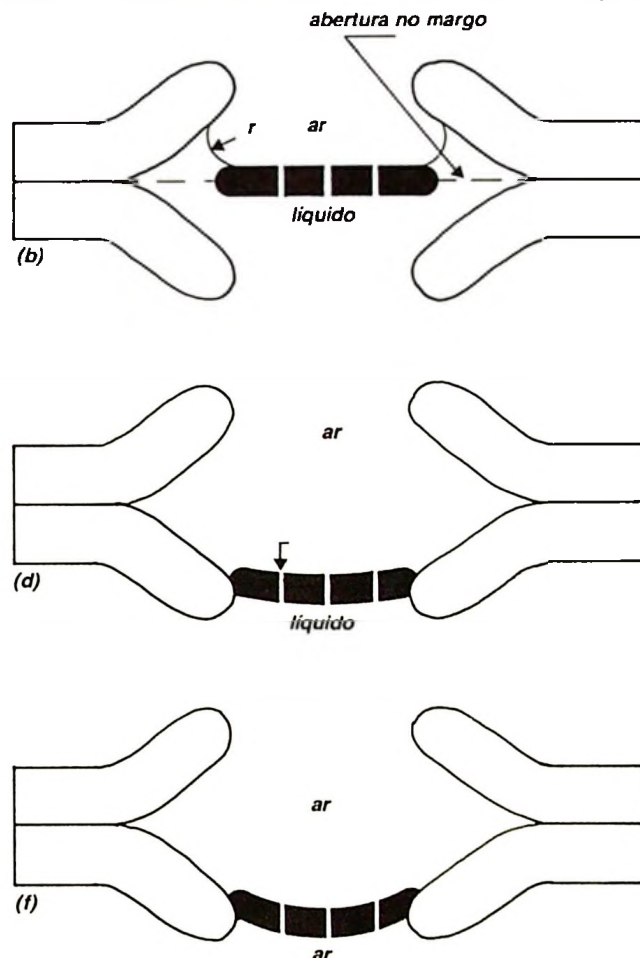


Figura 3.4 – Modelo proposto para a aspiração de pontuação. De a a d, de acordo com Hart & Thomas (1967); e e f, de acordo com Nicholas (1970) – Apresentada por Siau (1971).

forme sugerido acima, deve ser considerada com certo cuidado. O conceito de tensão capilar associado ao de tensão superficial assume que uma quantidade de moléculas são envolvidas e, considerando que as dimensões das aberturas do torus são muito pequenas, aproximando-se das dimensões moleculares da água ($0,3 \mu\text{m}$), forças intermoleculares podem passar a ser o fator governante em vez de forças devido à tensão superficial.

Em uma análise de magnitude de tensão capilar em função do raio, Skaar (1972) considera que o conceito de tensão capilar pode ser aplicado ao nível das dimensões das cavidades, sendo duvidoso o seu emprego para aberturas de raios iguais ou menores que $10,1 \mu\text{m}$.

4. FATORES QUE INFLUENCIAM A ASPIRAÇÃO DE PONTOAÇÃO

O mecanismo de aspiração de pontuação proposto por Hart & Thomas (1967) subentende a existência de torus e de água livre ou água capilar, conforme discutido no item anterior.

A necessidade de existência do torus e, portanto, de pontuação areolada é confirmada pelas pesquisas de Liese & Bauch (1967), os quais verificaram que a permeabilidade de Northern White cedar (*Thuja occidentalis*) não foi significativamente alterada após a secagem ao ar, a partir de diferentes

tratamentos com substâncias de variadas tensões superficiais, ao contrário do que ocorreu com outras espécies de coníferas que possuem torus e que receberam o mesmo tipo de tratamento (ver subitem 4.1.2). As membranas das pontoações de Northern white cedar são formadas por numerosas microfibrilas sem apresentar um torus distinto.

Também as pesquisas realizadas por Comstock & Côté (1968), comentadas no subitem 4.1.2, demonstram pelos estudos de microscopia eletrônica que a alteração da permeabilidade pela secagem está diretamente relacionada às condições de pontoações areoladas. Quando a aspiração ocorre, a permeabilidade é baixa, e quando a aspiração é impedida, a permeabilidade se mantém em seu nível original correspondente à da madeira verde. Por outro lado, Kollmann (1968) considera que as pontoações das madeiras de espécies de muitos gêneros que não possuem torus bem definidos, mas cujas membranas apresentam um espessamento central com incrustações de outras substâncias, geralmente ocorridas durante a transformação do alburno em cerne, também podem ser aspiradas, diminuindo a permeabilidade.

A existência de água livre ou água capilar é necessária, porquanto as tensões são desenvolvidas na madeira com um teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras em função da remoção desta água, i.e., da água contida nas cavidades celulares e nas aberturas que ligam estas cavidades.

Esta última necessidade é confirmada por Phillips (1933), citado por Siau (1971), em seus estudos microscópicos durante a secagem de Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) e Scotch pine (*Pinus silvestris*). Phillips observou que a maioria das pontoações se encontravam não-aspiradas no alburno da madeira verde, e que a proporção de pontoações aspiradas aumentava com a diminuição do teor de umidade até o ponto de saturação das fibras, quando a maioria das pontoações da madeira do lenho inicial se encontravam aspiradas. A partir deste ponto nenhuma aspiração significativa foi observada.

Vários outros autores têm também relacionado a aspiração de pontoação com a secagem da madeira. Suas conclusões podem ser agrupadas em três fatores principais, os quais tomados isoladamente ou em conjunto podem controlar a aspiração, conforme comentado por Comstock & Côté (1968). Estes fatores são:

- 1º – magnitude das forças que atuam sobre o torus, a fim de forçarem seu deslocamento.
- 2º – rigidez da membrana da pontoação, a qual resulta em uma força oposta àquela que provoca seu deslocamento.
- 3º – adesão do torus e da aréola da pontoação quando os mesmos estão em contato.

4.1. Magnitude das forças que atuam sobre o torus

As forças que atuam sobre o torus são originárias das tensões capilares criadas durante o processo de remoção de líquidos da madeira conforme apresentado no item 3.1, as quais são controladas pela equação (3.1). Por esta equação pode-se observar que a magnitude da tensão capilar ($P_0 - P$) é dependente do raio capilar (r) e da tensão superficial (d) do líquido evaporante.

4.1.1. Raio capilar

A influência do tamanho do raio capilar foi comentada no subitem, sendo perfeitamente claro que o tamanho e a forma da abertura da pontoação, da câmara, do margo e do torus são de importância primordial na magnitude da tensão capilar e, em consequência, na aspiração da pontoação. As aberturas do margo, em especial, devem ser suficientemente pequenas para permitir o desenvolvimento da tensão necessária para forçar o deslocamento do torus em direção às aréolas da pontoação.

4.1.2. Tensão superficial

A tensão superficial do líquido evaporante é diretamente proporcional à tensão capilar, de acordo com a equação (3.1).

No estudo da influência da tensão superficial na aspiração de pontoações é, em geral, utilizada a substituição da seiva natural existente na madeira verde por substâncias que possuem diferentes tensões superficiais, mediante vários procedimentos, como, por exemplo, de filtragem. Estas substâncias podem ser os líquidos orgânicos e solução de água com líquidos umectantes ou surfactantes, visando a diminuição da tensão superficial da água e, conseqüentemente, da tensão capilar desenvolvida durante sua remoção da madeira. Medições da permeabilidade da madeira em estado verde natural, após a secagem da água livre contida na mesma e das substâncias utilizadas em substituição à água livre, bem como observações microscópicas das membranas das pontoações, são realizadas para comparação.

Griffin (1919 e 1924), Phillips (1933), Erickson & Crawford (1959) e Liese & Bauch (1967), citados por Comstock & Côté (1968), observaram que a aspiração da pontoação não ocorreu no alburno de coníferas quando a água foi substituída por álcool, anteriormente à secagem. O impedimento da aspiração foi, invariavelmente, atribuído à baixa tensão superficial do álcool, comparada com a da água. Liese (1951) encontrou evidências da existência de um valor limite da tensão superficial capaz de impedir a aspiração de pontoações quando do tratamento de Spruce (*Picea excelsa*) com soluções de diferentes tensões superficiais. Os cálculos teóricos realizados por Liese (1953), baseados em observações microscópicas de membranas de pontoações, indicaram que a tensão superficial do líquido evaporante deve ser no mínimo igual a 32 dinas/cm para que ocorram as forças capilares necessárias para provocar a aspiração de pontoações. Para comprovar estes resultados, Liese & Bauch (1967) realizaram experiências utilizando madeiras inicialmente verdes, do último anel de crescimento, de Northern White cedar (*Thuja occidentalis*), Silver fir (*Abies alba*), Norway Spruce (*Picea abies*), Scotch pine (*Pinus silvestris*) e de Spruce (*Picea excelsa*). A água natural contida na madeira verde foi substituída pelo processo de filtragem por soluções de diferentes concentrações de acetona e água (tensão superficial variando de 72,6 a 23,2 dinas/cm) e de etanol e água (tensão superficial variando de 72,6 a 22,6 dinas/cm). Por meio de medidas da permeabilidade à água, após a secagem natural destas soluções, foi observado que para concentrações das soluções de 75 por cento de etanol e 80 por cento de acetona, conforme ilustrado na Figura 4.1, a aspi-

ração das pontoações era incompleta, uma vez que a permeabilidade é aumentada rapidamente acima destes valores. A única exceção a esta observação ocorreu para Northern White cedar, em função desta espécie não possuir torus definido, como já mencionado no item 4 deste trabalho.

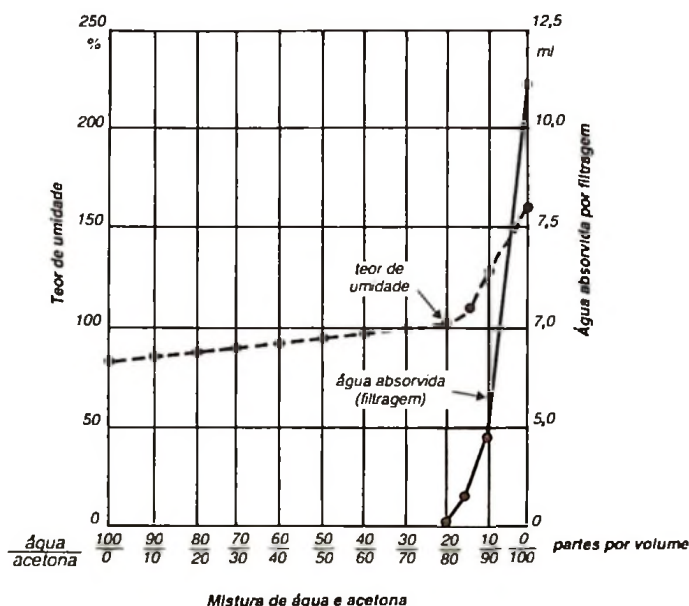


Figura 4.1 – Permeabilidade do albumo de amostras secas ao ar de *Abies alba* em função de tensão superficial do líquido capilar. Coordenadas: a) abscissa – concentração da mistura de água x acetona; b) ordenada direita – quantidade de água absorvida pela madeira após meia hora de filtração; c) ordenada esquerda – teor de umidade da amostra após uma hora de filtração – Apresentada por Liese & Bauch (1967).

As concentrações acima referidas de etanol e acetona em água correspondem a uma tensão superficial de 26 dinas/cm em líquidos puros. Assim, Liese & Bauch concluíram que uma tensão superficial desta magnitude é necessária para forçar a aspiração de pontoação em madeira de lenho inicial. Esta conclusão foi reforçada pela análise microscópica da madeira e pela observação da penetração de substâncias líquidas corantes em amostras que receberam o tratamento previamente descrito. Entretanto, Comstock & Côté (1968), analisando a influência da tensão superficial de diferentes líquidos evaporantes na aspiração de pontoação de Eastern hemlock (*Tsuga canadensis*) e utilizando, principalmente, soluções de diferentes substâncias umectantes com água, as quais propiciaram um abaixamento da tensão superficial da água para valores inferiores a 26 dinas/cm sugeridas por Liese & Bauch (1976), observaram que mesmo para a solução de menor tensão superficial testada (19,4 dinas/cm) ocorreu a aspiração de pontoação. A permeabilidade da madeira, após a secagem ao ar livre desta solução, permaneceu próxima da permeabilidade da madeira que havia sido seca ao ar diretamente a partir de sua condição natural verde (aproximadamente 1/50 da permeabili-

dade da madeira verde antes da secagem). Já para o caso da substituição da água livre por líquidos orgânicos com tensões superficiais variando de 17,8 a 44,4 dinas/cm, para posterior secagem ao ar, a permeabilidade dos alburnos de Red pine (*Pinus resinosa*) e de Eastern hemlock (*Tsuga canadensis*) permaneceu na mesma ordem de grandeza daquela do alburno em estado verde, ocorrendo mesmo em determinados casos um certo aumento da permeabilidade em relação àquela característica da madeira verde. Este fato foi atribuído à remoção de extrativos da madeira ou talvez à desaspiração de algumas pontoações pela ação dos solventes. Apenas para um caso de utilização do solvente orgânico a permeabilidade da madeira diminuiu significativamente em relação à permeabilidade original. Esta redução de cerca de 85 por cento para Red Pine e para mais de 99 por cento para Eastern hemlock ocorreu quando a secagem foi realizada após a substituição da seiva por acetona e desta última por água, sendo, portanto, a água responsável pela aspiração e não o solvente orgânico.

Observações microscópicas das amostras secas a partir dos diferentes líquidos demonstraram que as aspirações de pontoações eram consistentes com os resultados obtidos para as medidas de permeabilidade. Assim, Comstock & Côté (1968) concluíram que não se pode considerar somente o efeito da tensão superficial como fator unicamente responsável pela aspiração de pontoações, mesmo que esta seja suficientemente alta para deslocar o torus em direção à aréola. A esta mesma conclusão chegaram Thomas & Kringstad (1970), citados por Siau (1971), quando estudando a madeira do lenho inicial do alburno de Loblolly pine (*Pinus taeda*) observaram que a aspiração de pontoações ocorre quando substâncias umectantes são adicionadas à água para se obter baixas tensões superficiais, o que não se verifica com alguns líquidos orgânicos de altas tensões superficiais.

As conclusões a que chegaram Comstock & Côté (1968), posteriormente confirmadas por Thomas & Kringstad (1970), parecem estar à primeira vista em contradição com aquelas de Liese & Bauch (1967). Os últimos apontaram o valor da tensão superficial da ordem de 26 dinas/cm como limite para a ocorrência da aspiração de pontoação. Os primeiros concluíram, por um lado, que a aspiração não ocorre para valores de tensão superficial superiores a este, no caso de o líquido evaporante ser orgânico e, por outro, a aspiração ocorre para valores de tensão superficial inferiores quando o líquido evaporante é umectante. Esta aparente contradição pode ser explicada em função da magnitude da tensão superficial não ser o único fator responsável, isoladamente, pela ocorrência da aspiração de pontoações e em função de forças de adesão entre o torus e a aréola, conforme será visto no item 5.

4.2. Rigidez da membrana da pontoação

A estrutura da membrana da pontoação é, a princípio, o fator que controla a aspiração, uma vez que as magnitudes dos demais fatores necessários para promover esta aspiração são dependentes de sua resistência e de sua capacidade de adesão, conforme analisado nos itens anteriores e subsequentes.

Ao se falar em resistência e estrutura de elementos celulares três fatores destacam-se imediatamente: a densidade de uma forma abrangente e, ligado a esta, as diferenças existentes entre a madeira do cerne e do albúrneo e entre a madeira do lenho tardio e inicial.

Além dos fatores intrínsecos à madeira mencionados acima, outros fatores externos podem influir na rigidez das membranas da pontuação, como é o caso da temperatura e do inchamento causado por líquidos de propriedades de inchamento diferentes das da água, conforme será visto a seguir.

4.2.1. Densidade

É fato conhecido que a resistência da madeira é diretamente proporcional à sua densidade, assim o caso específico da membrana da pontuação, que não constitui exceção. Phillips (1933), citado por Siau (1971), cujas experiências já foram mencionadas no item 4, observou que a fração de pontuação não aspirada é aproximadamente proporcional à densidade e, em consequência, à espessura da parede celular.

4.2.2. Cerne e albúrneo

Para a influência da madeira do cerne e do albúrneo, deve-se considerar as duas causas de aspiração de pontuação, conforme mencionado no item 3. Inicialmente, na madeira em condição verde natural o cerne apresenta maior quantidade de pontuações aspiradas devido ao fenômeno natural de transformação do albúrneo em cerne. Neste caso, sua permeabilidade é menor, devendo-se ressaltar também o efeito de oclusão das pontuações por causa dos extrativos e de incrustações nas membranas, com substâncias tipo lignina, as quais também contribuem para a vedação da pontuação, diminuindo efetivamente a permeabilidade da madeira. Nestas circunstâncias, Stamm (1964), comentando os trabalhos de Johnson (1930) e de Sutherland *et alii* (1934), cita que a permeabilidade do albúrneo não submetido à secagem é aproximadamente 200 vezes maior do que a do cerne. Vários autores observaram que a permeabilidade do cerne é menor do que a do albúrneo e atribuíram este fato à maior quantidade de pontuações aspiradas existentes no primeiro em comparação com o último. Este é o caso de Phillips (1933), Wardrop & Davies (1961), Hayashi *et alii* (1966) e Behr *et alii* (1969), conforme citado por Siau (1971). Lin Jinxing (1988) demonstrou que a percentagem de pontuações aspiradas no lenho tardio de *Pinus radiata* é de 90% no cerne e decresce bruscamente na zona de transição e albúrneo.

4.2.3. Lenho tardio e inicial

O terceiro fator correlato com a densidade e com a rigidez da membrana da pontuação é a madeira do lenho inicial e tardio. As pontuações da madeira do lenho tardio tendem a ser mais dificilmente aspiradas por serem menores, com torus e membrana mais espessos, resultando em uma estrutura mais rígida.

Estas observações têm sido comprovadas por diversos autores, por meio de observações microscópicas e pela permeabilidade em geral maior e, conseqüentemente, maior facilidade

de tratabilidade da madeira do lenho tardio comparada com a do lenho inicial. A esta conclusão chegaram Phillips (1933), já mencionado anteriormente, Wardrop & Davies (1961) quando investigaram o escoamento de sais solúveis em água em Monterey-pine (*Pinus radiata*), e Bramhall (1967), o qual concluiu que a permeabilidade da madeira do lenho tardio de Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) não foi afetada pelo método da secagem, enquanto a do lenho inicial foi elevada mediante a secagem a partir de substâncias de baixa tensão superficial, exceto para um tipo de madeira de região costeira. Todos estes autores foram citados por Siau (1971). Também Liese & Bauch (1967), cujas experiências já foram descritas, observaram que as pontuações das madeiras do lenho inicial de todas as espécies testadas foram aspiradas quando secas pela remoção direta da água, enquanto uma proporção variável de pontuações do lenho tardio não foi aspirada, dependendo da espécie. No caso de secagem pela substituição da água por soluções de menores tensões superficiais, Liese & Bauch observaram que a tensão superficial do líquido, necessária para causar o deslocamento do torus quando se aumenta a espessura da membrana da pontuação, como é o caso da madeira do lenho tardio, deve ser maior que os 26 dinas/cm sugeridos (ver subitem 4.1.2.).

4.2.4 Temperatura

Comstock & Côté (1968) investigaram o efeito da temperatura e da razão de secagem sobre a permeabilidade da madeira de Eastern hemlock (*Tsuga canadensis*). A razão de secagem foi considerada como rápida quando se utilizou vapor de ar, e lenta quando as amostras da madeira foram colocadas em dessecadores com pentóxido de fósforo. Em ambas razões de secagem utilizaram-se temperaturas de 20, 60 e 100°C. Somente a razão de secagem lenta foi utilizada para a temperatura de 18°C, e somente a rápida para 140°C. Os resultados obtidos indicaram que a permeabilidade da madeira diminuiu e, conseqüentemente, a aspiração de pontuação mostrou-se mais severa para altas temperaturas. As razões de secagem, lenta e rápida, não influenciaram na permeabilidade. Para a secagem a 18°C, também ocorreu a aspiração de pontuações, uma vez que a permeabilidade das amostras foi de aproximadamente 1/20 daquela das amostras antes da secagem, muito embora tal fato não fosse esperado em virtude de o Congelamento da água eliminar as forças devido à tensão superficial.

Conforme citado pelos mesmos autores, tanto a não-influência da razão de secagem quanto a influência da secagem a frio não encontram suporte na literatura e estão em contradição com as observações de Erickson & Crawford (1959) e de Thomas (1967), respectivamente.

A ocorrência de maior quantidade de pontuações aspiradas a altas temperaturas foi atribuída por Comstock & Côté ao aumento da plasticidade da madeira em função do aumento da temperatura, em detrimento da diminuição da tensão superficial, a qual, diminuindo com a elevação da temperatura, diminui a tensão capilar. Também aqui estes resultados são contraditórios com outra referência bibliográfica. Liese & Bauch (1967) citam que a elevação da temperatura aumentou a per-

meabilidade de amostras de madeira preparadas com acetona, em função da diminuição da tensão superficial, embora as condições de realização deste experimento não tenham sido explicadas pelos referidos autores.

Assim, a influência da temperatura na aspiração de pontoações se torna um tanto incerta em face das referências bibliográficas consultadas.

4.2.5. Inchamento

A capacidade de inchamento de líquidos utilizados em substituição à água durante a secagem da madeira pode alterar a rigidez das membranas das pontoações.

É fato conhecido que a maioria das propriedades de resistência da madeira, incluindo o módulo de elasticidade, aumenta com a diminuição do teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras e, portanto, aumenta com a contração da madeira. Assim, ao contrário, é esperado que a resistência diminua quando a madeira for inchada pela absorção de líquidos com capacidade de inchamento maior do que o da água. Esta expectativa é comprovada pelas experiências de Erickson & Rees (1940), os quais observaram que a resistência à ruptura da madeira diminui com o aumento da capacidade de inchamento de líquidos orgânicos, nos quais a madeira havia sido embebida. Desta forma, é também esperado que a rigidez das membranas das pontoações aumente quando da substituição da água por líquidos de menor poder de inchamento, conforme observado por Comstock & Côté (1968). Estes mesmos autores, após obterem os resultados descritos no subitem 4.1.2 deste trabalho, realizaram novos testes substituindo a água por vários líquidos orgânicos com diferentes tensões superficiais e capacidades de inchamento, com a finalidade de isolar o fator determinante na aspiração de pontoação. Amostras do alburno de madeiras de Red pine (*pinus resinosa*) e de Eastern hemlock (*Tsuga canadensis*) foram utilizadas, e a média do inchamento nas direções radial e tangencial foram determinadas como porcentagem destes valores obtidos para o inchamento devido apenas à água. Os valores da capacidade de inchamento relativa dos líquidos orgânicos em relação ao da água variaram de 3 a 94%, e estão, em geral, de acordo com aqueles apresentados por Stamm (1964). Comstock & Côté concluíram que não existe relação entre a capacidade de inchamento do líquido com o pressuposto aumento da resistência da membrana, uma vez que a permeabilidade da madeira, medida após a remoção do líquido pela secagem ao ar, se manteve alta (aproximadamente na mesma ordem de grandeza da permeabilidade da madeira verde natural), tanto para líquidos de baixa quanto para os de alta capacidade de inchamento. Desta forma, a capacidade de inchamento de líquidos orgânicos também não se constitui isoladamente no fator preponderante para a aspiração da pontoação.

4.3. Adesão do torus e da aréola da pontoação

Os resultados obtidos por Comstock & Côté (1968) indicaram que nenhum dos fatores analisados, com especial destaque para a tensão superficial (subitem 4.1.2) e para a influência do inchamento na rigidez da membrana da pontoação

(subitem 4.2.5), se constituem em fatores preponderantes no mecanismo da aspiração de pontoações, quando analisados isoladamente. A aspiração de pontoações não ocorreu quando da secagem da madeira a partir de líquidos orgânicos de variadas capacidades de inchamento. A tensão superficial, ainda que de magnitude presumivelmente suficiente para deslocar o torus, não proporcionou o desenvolvimento das forças de adesão necessárias para manter o mesmo preso à aréola, nos casos de o líquido evaporante ser orgânico. Já para a evaporação da água pela simples secagem do ar, após a substituição da água natural da madeira por acetona e, esta última novamente por água, a aspiração ocorreu aproximadamente da mesma forma de quando da secagem da madeira a partir de sua condição verde natural. Assim, Comstock & Côté concluíram, de maneira considerada especulativa, que o fator chave no mecanismo da aspiração deveria ser a adesão entre o torus e a aréola, e que a água deveria desempenhar papel importante no desenvolvimento destas forças adesivas, as quais poderiam ser forças de ligação de hidrogênio ou pontes de hidrogênio.

Como se sabe, a higroscopicidade da madeira é primariamente associada aos grupos hidroxílicos (OH) existentes por toda a sua estrutura, em particular na celulose e na hemicelulose. Os grupos hidroxílicos são polares, i.e., as suas cargas elétricas não são uniformemente distribuídas em toda a sua estrutura. O lado do hidrogênio possui carga positiva, sendo considerado um doador de próton. O outro lado do oxigênio, tendo carga negativa, é considerado como um receptor de próton. A água, por sua vez, também é um líquido polar em função da dimensão do átomo de hidrogênio ser bastante pequena em comparação com a do oxigênio. Assim, embora os dois átomos de hidrogênio dividam os elétrons do átomo de oxigênio, os pequenos núcleos dos hidrogênios, com suas cargas positivas, estão situados muito próximos do oxigênio, resultando em uma carga negativa neste último, no lado oposto à ligação com os átomos de hidrogênio. Os grupos hidroxílicos atraem e prendem as moléculas de água pela ligação química conhecida como ponte de hidrogênio, conforme indicado pelas linhas tracejadas entre os átomos de oxigênio e de hidrogênio na Figura 4.2.

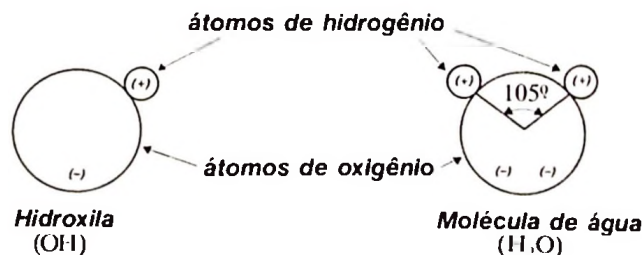


Figura 4.2 – Representação esquemática da hidroxila e da molécula da água mostrando a polaridade – Apresentada por Galvão & Jankowsky (1985).

Baseados nesta análise, Comstock & Côté procuraram explicar a aparente contradição existente entre suas conclusões e aquelas citadas por Liese & Bauch (1967), conforme comentado no subitem 4.1.2., como sendo devido à variação de adesão entre o torus e a aréola, em dependência da concentração das soluções de água e acetona e de água e etanol utilizados como líquidos evaporantes pelos últimos autores. A exata quantidade de água presente na solução, no preciso momento da ocorrência da aspiração poderia ser diferente daquela da concentração inicial, em função da diferente razão da evaporação da água e desses solventes orgânicos.

As conclusões apresentadas por Comstock & Côté (1968) foram posteriormente confirmadas por Thomas & Kringstad (1970), conforme citado por Siau (1971). Estes autores, investigando a influência de diversos fatores na aspiração de pontoações do lenho inicial do alburno da madeira verde Loblolly pine (*Pinus taeda*), determinaram que o bloqueamento químico dos grupos hidroxílicos existentes na madeira, por meio de esterificação e de eterificação, impediu 60 por cento das pontoações de serem aspiradas, após a remoção direta da água da madeira, enquanto todas as pontoações foram aspiradas quando não se usou nenhum tratamento químico. Desta forma ficou evidente a importância dos grupos hidroxílicos na aspiração das pontoações.

Thomas & Kringstad (1972) analisaram 18 solventes utilizados no estudo de aspiração de pontoação e observaram que alguns líquidos orgânicos impedem a ocorrência de aspiração, o mesmo não acontecendo com outros, fato este não observado na revisão bibliográfica até aqui realizada, quando se considerou apenas o líquido orgânico como substância evaporante e não sua solução em água como no caso das experiências de Liese & Bauch (1967).

Thomas & Kringstad também observaram completa ausência de correlação entre a tensão superficial, a capacidade de inchamento relativo à água e a aspiração de pontoação, conforme comentado anteriormente por Comstock & Côté e ilustrado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Aspiração de pontoação em função da tensão superficial e da capacidade de inchamento de líquidos, relativo à água (capacidade de inchamento da água sendo considerada igual a 100) – Apresentada por Thomas & Kringstad (1972).

	Grupo 1	Grupo 2
Tensão superficial (dinas/cm)	16-72	16-45
Inchamento relativo (%)	100-116	0-118
Ocorrência de aspiração	Sim	não

As estruturas moleculares dos 18 solventes analisados indicam que a aspiração pode ocorrer para os líquidos que possuam propriedade de doação ou de recepção de átomos, como é o caso daqueles que possuem grupos OH ou NH. O

oxigênio e o nitrogênio se constituem nas partes receptoras e o hidrogênio na doadora, permitindo a formação de uma ligação cruzada entre a membrana da pontoação e a aréola, por meio de pontes de hidrogênio formadas entre aréola-líquido, líquido-líquido e líquido-membrana, como ilustrado na Figura 4.3.

A força desta ligação química é consideravelmente resistente e a adesão entre o torus e a aréola somente se realizará se o líquido possuir a propriedade de doação e recepção de átomos, como, também, se a membrana e a aréola possuírem grupos hidroxílicos disponíveis.

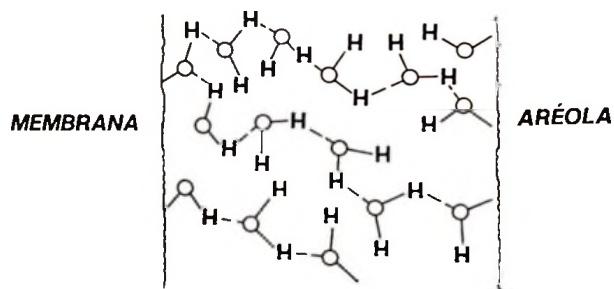


Figura 4.3 – Representação das ligações de hidrogênio (pontes de hidrogênio) na aspiração de pontoações – Apresentado por Thomas & Kringstad (1972).

Thomas & Kringstad (1972) observaram que alguns líquidos, como o etanol, embora possuindo a propriedade de doação e de recepção de átomos, não causam a aspiração de pontoação, enquanto o metanol apresenta resultados mistos, uma vez que algumas pontoações são aspiradas e outras não. Como o metanol possui maior capacidade de formar ligações de hidrogênio, esta deve aproximar-se do limite crítico. Apesar de o etanol não causar a aspiração, nas experiências de Liese & Bauch (1967) as pontoações foram aspiradas com a evaporação do mesmo em solução com água para tensões superficiais acima de aproximadamente 26 dinas/cm, sendo portanto a água a responsável pela aspiração, conforme comentado anteriormente.

É possível também que o líquido possa formar pontes de hidrogênio e não provoque a aspiração, como o caso da piridina, que não possui a propriedade de doação de átomos.

A capacidade de um líquido de formar pontes de hidrogênio pode ser avaliada pelo seu poder de inchamento, uma vez que a contração da madeira ocorre pela liberação de moléculas de água presas pelas pontes de hidrogênio. Assim, para líquidos que possuem propriedades doadora e receptora de átomos e capacidade de formar pontes de hidrogênio, i.e., incham a madeira mais do que o metanol ou tanto quanto a água, a aspiração de pontoação ocorrerá com sua evaporação.

Resumidamente, os resultados das investigações de Thomas & Kringstad (1972) indicam que o líquido evaporante deve possuir as seguintes propriedades para provocar a aspiração de pontoações:

- a molécula do líquido deve ser capacitada a formar ligação de hidrogênio (pontes de hidrogênio) e possuir

ambas as propriedades de doação e recepção de átomos;

- o líquido deve possuir a propriedade de inchamento da madeira tanto ou mais do que a água;
- a relação entre a tensão superficial e o ângulo de contato deve ser tal que possibilite o desenvolvimento de tensões capilares de magnitude suficiente para deslocar a membrana da pontoação.

Quando o torus é deslocado de sua posição central no interior das câmaras da pontoação areolada, até contactar as aréolas, os grupos hidrofílicos existentes na madeira, formando pontes de hidrogênio com os átomos do líquido evaporante, mantêm a membrana da pontoação na condição aspirada.

5. DESASPIRAÇÃO

O mecanismo de desaspiração da pontoação será examinado apenas superficialmente, porque a bibliografia consultada não trata do assunto de modo específico, deixando supor que ainda não foram realizadas muitas pesquisas a respeito. Para exemplificar este ponto de vista, Butterfield & Meylan (1980) ainda consideravam que a aspiração de pontoação se constitua em um processo irreversível. Entretanto, Thomas & Nicholas (1966) conseguiram desaspirar pontoações do alburno do lenho inicial de Loblolly pine (*Pinus taeda*) mediante o resaturamento em água (procedimento este considerado para romper as pontes de hidrogênio responsáveis pela adesão do torus e da aréola). Elas substituíram esta água por acetona (procedimento este considerado para desidratação da madeira) e, posteriormente, substituíram a acetona por pentano. A partir daí, a madeira foi seca e as pontoações desaspiradas. As pontoações desaspiradas apresentavam a mesma estrutura de pontoação das que nunca sofreram aspiração, o que indica que a aspiração não afeta a estrutura da membrana, inclusive a do margo. Também Thomas & Kringstad (1970), citados por Siau (1971), conseguiram idênticos resultados, utilizando a mesma espécie de madeira e os mesmos líquidos orgânicos. Eles também observaram que quanto mais tempo a pontoação permanece aspirada, mais difícil se torna conseguir a sua desaspiração, sendo necessário aumentar o tempo de saturamento em água. Uma possível explicação para este fenômeno de dependência do tempo é que as microfibrilas do margo tendem a relaxar quando permanecem durante longo tempo sob tensão, diminuindo suas tendências de retornar à posição original, após o rompimento das pontes de hidrogênio. Estes autores consideram que se as pontoações podem ser desaspiradas pelo saturamento em água, também ocorrerá a desaspiração de uma certa quantidade de pontoações quando da impregnação da madeira sob pressão com preservativos solúveis em água. Assim, o tratamento do alburno será facilitado quando estes tipos de preservativos forem utilizados, o que não deverá ocorrer para os preservativos derivados de petróleo, porquanto os mesmos não romperão as pontes de hidrogênio.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARNETT, J.R. The development of Fibre – Tracheid pit membranes in *Pyrrhus communis* L. IAWA Bulletin n.s. 8 (2): 134-142, 1987
- BEHR, E.A.; SACHS, I.B.; KUKACHKA, B.K. & BLEW, J.D. Microscopic examination of pressure-treated wood. E.U.A., **Forest Products Journal**, 19 (8): 31-40, 1969.
- BRAMHALL, G. Longitudinal permeability within douglas-fir. Vancouver, University of British Columbia, 1967. Tese de mestrado.
- BUTTERFIELD, B.G. & MEYLAN, B.A. **Three-dimensional structure of wood**. 2 ed., London, Chapman and Hall, Ltd, 1980. 103 p.
- COMSTOCK, G.L. & CÔTÉ, W.A. Factors affecting permeability and pit aspiration in coniferous sapwood. EUA, **Wood Science and Technology**, 2 (4): 279-91, 1968.
- CORE, H.A.; CÔTÉ, W.A. & DAY, A.C. **Wood structure and identification**. 2 ed., New York Syracuse University Press, 1979. (Syracuse wood science series No. 6).
- CÔTÉ JR., W.A. Electron microscope studies of pit membrane structure-implications in seasoning and preservation of wood. EUA, **Forest Products Journal**, 8 (10):296-300, 1958.
- ERICKSON, H.D. & CRAWFORD, R.J. **The effects of several seasoning methods on the permeability of wood to liquids**. EUA, American Wood Pres. Assoc. Proc., 1959. p. 210-20.
- ERICKSON, H.D. & REES, L.W. Effect of several chemicals on the swelling and the crushing strength of wood. EUA, **Journal of Agricultural Research**, 60 (9): 593-603, 1940.
- ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo, Edgard Blücher Ltda, 1974. 293 p.
- FREY – WYSSLING, A.; BROSSHARD, H.H. & MUHLETHALER, K. The submicroscopic development of bordered pits. s.l., **Planta** 47 (2): 115-26, 1956.
- GALVÃO, A.P.M. & JANKOWSKY, J.P. **Secagem racional de madeira**. São Paulo, Livraria Nobel, 1985. 112 p.
- GRIFFIN, G.J. Bordered pits in douglas-fir: A study of the position of the torus in mountain and lowland specimens in relation to creosote penetration. EUA, **Journal of Forestry**, 17 (7) 813-22, 1919.
- GRIFFIN, G.J. Further note on the position of the tori in bordered pits in relation to penetration of preservatives. EUA, **Journal of Forestry**, 22 (6): 82-3, 1924.
- HARADAH, H. Electron microscope study of wood tissue with special reference to wart-like and bordered pit structures. Trans. 65 th, Mtg., **Jap. For. Soc.** 31 (4): 1-8, 1956.

- HART, C.A. Principles of moisture movement in wood. *EUA, Forest Products Journal*, 10 (3): 207-10, 1964.
- HART, C.A. & THOMAS, R.J. Mechanism of bordered pit aspiration as caused by capillarity. *EUA, Forest Products Journal*, 17 (11): 61-68, 1967.
- HAYASHI, S.; NISHIMOTO, K. & KISHIMA, T. Study on the liquid permeability of softwoods. Kyoto, Wood Research Institute, Kyoto University, *Wood Research* No. 36: 47-57, 1966.
- JOHNSON, H.W. & MASS, D. *Can. J. Research*, 3: 140, 1930.
- KOLLMANN, F. *Tecnologia de la madera y sus aplicaciones*. 2 ed., Madrid, Ministerio da Agricultura – Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, 1959. v.I. 675 p.
- KOLLMANN, F.F.P. & CÔTÉ W.A. *Principles of wood science and technology*. Berlin, Springer-Verlag, 1968. V.I. 592 p.
- LIESE, W. Über die Eindringung von öligen schutzmitteln in Fichtenholz. *Holz als Roh-und werkstoff*. V.9, p. 374-8, 1951.
- LIESE, W. Über die Hoftüpfel der koniferen. *Ber Dtsch. Bot. Ges.* V.66, p. 203-11, 1953.
- LIESE, W. Fine structure of bordered pits in coniferous woods. London, *Proceedings Int'l Conference in Electron Microscopy*, 1954. p. 550-4.
- LIESE, W. Elektronenmikroskopische beobachtungen über die warzens **struktur** bei den koniferen. *Proc. Stockholm Conference on Electron Microscopie*, 1956.p.276-9.
- LIESE, W. & BAUCH, J. On the closure of bordered pits in conifers. *EUA, Wood Science and Technology*, 1 (1): 1-13, 1967.
- LIN JINXING. Distribution, size and effective aperture grea of the inter-tracheid pitss in the radial wall of *Pinus radiata* tracheids. *IAWA Bulletin*, n.s. 10 (1): 53-58, 1989.
- NICHOLAS, D. 1970. Comunicação particular a Siau (1971).
- OHTANI, H. & ISHIDA, S. Pit membrane with torus in dicotyledonous woods. *Journal of the Japanese Wood Research Society*, 24: 673-5, 1978.
- PANAMESWARAN, N. & LIESE, W. Torus-like structures in interfibre pits of *Prunus* and *Pyrus*. *IAWA Bulletin* n.s., 2 (2): 89-93, 1981.
- PARAMESWARAN, N. & VIDAL GOMES, A. Fine structural aspects of helical thickenings and pits in vessels of *Lingustrum lucidum* Ait. (Oleaceae). *IAWA Bulletin* n.s. 2 (4): 179-85, 1981.
- PHILLIPS, E.W.J. Movement of pit membrane in coniferous wood, with special reference to preservative treatment. London, Forestry. **Society of Foresters of Great Britain**, 7 (1): 109-20, 1933.
- SIAU, J.F. *Flow in wood*. 1 ed., New York, Syracyse University Press, 1971. 131p.
- SKAAR, C. *Water in wood*. New York, Syracuse University Press, 1972. 218 p.
- STAMM, A.J. U.S. Department of Agriculture. **Technical Bulletin** No. 929, 1946.
- STAMM, A.J.J. *Wood and cellulose science*. New York, The Ronald Press Company, 1964. 549 p.
- SUTHERLAND, J.H.; JOHNSON, H.W. & MASS, D. *Can. J. Research*, 10:36, 1934.
- THOMAS, R.J. The developoment and ultrastructure of the pits of two southern yellow pine species. Duke University, 1967. Tese DF.
- THOMAS, R.J. & KRINGSTAD, K.P. The role of hydrogen bonding in pit aspiration. Raleigh, **Journal Series**, Department of wood and Paper Science, North Carolina Agricultural Experiment Station, 1970. (Paper No. 312).
- THOMAS, R.J. & KRINGSTAD, K.P. A note on hydrogen bonding and pit aspiration. *EUA, Wood Science and Tecnology*, 5 (1): 63-4, 1972.
- THOMAS, R.J.J. & NOCHOLAS, D.D. Pit membrane structure in loblolly pine as influenced by solvent exchange drying. *EUA, Forest Products Journal*, 16 (3): 53-56, 1966.
- WARDROP, A.B. & DAVIES, G.W. Morphological factors relating to the penetration of liquids into wood. *Holzforschung*, 15 (5): 129-41, 1961.
- WHEELER, E.A. Intervascular pit membranes in *Ulmus* and *Celtis* native to the United States. *IAWA Bulletin* n.s. 4 (2-3): 79-88, 1983.

