



IPEF: FILOSOFIA DE TRABALHO DE UMA ELITE DE EMPRESAS FLORESTAIS BRASILEIRAS

ISSN 0100-3453

CIRCULAR TÉCNICA Nº 86

Janeiro/1980

PBP/3

***Pinus caribaea* var. *hondurensis* – PRINCIPAIS INTERAÇÕES ENTRE AS
CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA E O RENDIMENTO E QUALIDADE DA
CELULOSE***

Luiz Ernesto George Barrichelo

1. INTRODUÇÃO

O rendimento em celulose, segundo *FOELKEL & BARRICHELO (1975)*, pode ser gravimétrico ou volumétrico. No primeiro caso, é expresso como a relação percentual entre a quantidade de celulose produzida e quantidade de madeira empregada, ambas expressas em termos de peso absolutamente seco. O rendimento volumétrico pode ser expresso de diversas maneiras, destacando-se entre elas, a quantidade de celulose produzida, expressa em peso absolutamente seco, por metro cúbico de madeira empregada ou por metro cúbico de digestor.

O estabelecimento dos principais parâmetros da madeira diretamente relacionados com o rendimento em celulose, bem como suas correlações, têm sido objeto de estudo, há décadas. Apesar da maioria dos pesquisadores acreditar ser indiscutível a correlação positiva entre densidade e rendimento em celulose, ainda subsistem algumas dúvidas, pelo fato das experiências abrangerem, neste particular, um número restrito de coníferas.

Trabalho realizado por *COLE et alii (1966)*, utilizando madeira de *P. eliottii*, *P. taeda* e *P. palustris*, mostrou que árvores com alta densidade forneceram rendimentos ligeiramente superiores, quando comparados com árvores de baixa densidade, sendo os mesmos baseados no peso seco dos cavacos. Quando o rendimento foi computado em bases

* Segunda parte da revisão bibliográfica da tese apresentada à ESALQ para obtenção do Título de Livre-Docente.

volumétricas, árvores com alta densidade deram rendimento em celulose marcadamente superiores.

Zobel & MC Elwee, citados por *ZOBEL et alii (1960)*, encontraram pequena correlação entre densidade e rendimento em celulose, quando este foi calculado em termos de peso seco da madeira.

De uma maneira geral, quando uma correlação é encontrada entre densidade e rendimento volumétrico a mesma tem se mostrado positiva e linear, como destacado por *PRONIN & LASSEN (1970)*.

Porém, *ZOBEL et alii (1978)* afirmam que, geralmente, o rendimento em celulose está intimamente relacionado com a densidade da madeira, mas uma progênie de alta densidade pode fornecer um rendimento bem maior do que aquele que sua densidade pudesse indicar. Tais resultados são ocasionalmente obtidos, confirmado que fatores outros, além da densidade, afetam o rendimento e mesmo a qualidade da celulose.

PALMER & GIBBS (1973) trabalhando com *Pinus caribaea* da Jamaica, observaram que madeiras com maior densidade forneceram um maior rendimento em celulose, o mesmo ocorrendo para o *Pinus taeda*, conforme relacionado por *BLAIR et alii (1975)* com material colhido no sul dos Estados Unidos.

A par da preocupação com o rendimento, observa-se um interesse muito grande nos estudos relacionados com a qualidade da celulose, em termos de suas características de resistência. Tratando-se de coníferas utilizadas na produção de celulose Kraft, entre as resistências físico-mecânicas destacam-se: resistência à tração, expressa em termos de comprimento de auto-ruptura, em metros; resistência ao arrebentamento, expressa com índice de arrebentamento; e resistência ao rasgo, expressa como índice de rasgo, segundo a norma T220os-71, da Technical Association of the Pulp and Paper Industry, (TAPPI). Em segundo lugar, outras propriedades da celulose são importantes, destacando-se entre elas, o peso específico aparente, volume específico aparente e propriedades superficiais, como lisura e impressão.

Neste particular, a influência da densidade da madeira sobre as características da celulose é menos controversa do que para rendimento. Com raras exceções, os autores consultados são unânimes em reconhecer que madeira de mais alta densidade produz celulose com maiores resistência ao rasgo, menores resistência à tração e ao arrebentamento, menores pesos específicos, maiores volumes específicos e menos lisas.

NAMKOONG et alii (1969) destacam que o *Pinus* do sul dos Estados Unidos possuem elevadas densidades. Como resultado produzem papel com excelente resistência ao rasgo, adequadas resistências à tração e ao arrebentamento e superfícies levemente ásperas. Por outro lado, papéis produzidos a partir de madeiras de *Picea sp* e *Pseudotsuga sp*, que apresentam baixa densidade, mostram elevadas resistências à tração e ao arrebentamento, resistências ao rasgo intermediárias e excelentes superfícies para impressão.

WATSON et alii (1971), trabalhando com coníferas de Queensland, observaram que, em geral, as propriedades do papel poderiam ser previstas a partir do conhecimento da densidade da madeira, aliada à determinação do comprimento dos traqueídeos.

Madeira de *Pinus taeda*, de diferentes densidades, foi utilizada por *BYRD (1965)*, tendo este autor encontrado correlações negativas deste parâmetro com as resistências à tração e ao arrebentamento, e positivas com a resistência ao rasgo e peso específico aparente da celulose.

Resultados semelhantes foram relatados por *VAN BUIJTENEN (1969)*, que observou que a diminuição da densidade da madeira se traduziu por um aumento nas resistências à tração e ao arrebentamento e redução na resistência ao rasgo.

UPRICHARD (1970) trabalhando com madeira de *Pinus patula* e *P. taeda* conclui que, no geral, a resistência ao rasgo e volume específico aparente aumentam com a densidade, enquanto que as resistências à tração e ao arrebentamento diminuem com o aumento da densidade

Trabalhos mostrados semelhantes modelos de variação foram desenvolvidos por PALMER & GIBBS (1973), com madeira de *P. caribaea*, FOELKEL *et alii* (1975), a partir de madeira de *P. elliottii* do sul do Brasil, e BLAIR (1975), com madeira de *P. taeda*.

Contrariando estes fatos, COLE *et alii* (1966) observaram que a resistência ao rasgo parecia ser independente da densidade, quando produziram celulose de madeira de *Pinus elliottii*, *P. taeda* e *P. palustris*.

PALMER & GIBBS (1974) utilizaram madeiras de *Pinus caribaea* de Sabah, obtida de árvores com nove anos de idade, para a produção de celulose Kraft. Amostras de madeira, com densidade altas e baixas, foram cozidas separadamente e pequena correlação foi encontrada entre a densidade e características da resistência das celulose.

Analisando a madeira de *Pinus taeda*, ZOBEL & RHODES (1955) chegaram à mesma conclusão.

LARSON (1957) destaca que, para *Pinus elliottii*, mais de 60% da variação total da densidade é devida à percentagem de lenho tardio da madeira.

Segundo KLEN (1958), acima de 50% da variação na densidade está diretamente ligada às variações nas percentagens de lenho tardio.

Resultados semelhantes foram encontrados por MILLER (1959), DADSWELL & NICHOLS (1959), RISI & ZELLER (1960), SCHNIEWIND (1961), ZOBEL, (1961), BARRICHELO & BRITO (1978).

HILDEBRANDT (1962), todavia, destaca que a percentagem de lenho tardio nem sempre é uma indicação real da densidade, porque o lenho tardio pode consistir de fibras com diferentes espessuras de parede.

Mais recentemente, WORRAL *et alii* (1977) observando as propriedades das celuloses Kraft de *Pinus caribaea* e suas relações com a densidade da madeira, somente a resistência ao rasgo se mostrou correlacionada.

Em alguns casos, com o relatado por BAREFOOT & HITCHINGS (1970), o rendimento total não pode ser explicado pelas variações da densidade ou parâmetros relacionados com a mesma, como é o caso da espessura das paredes dos traqueídeos. Para processos de alto rendimento, a percentagem de lenho responde por cerca de 45% da variação do rendimento.

Depreende-se deste fato, que outros parâmetros da madeira das coníferas estão envolvidos na determinação de maior ou menor rendimento e qualidade, que pode ser conseguido a partir de uma determinada madeira. Dentre estes parâmetros, se destaca a percentagem de lenho tardio como um dos mais estudados.

Entre os trabalhos pioneiros, destaca-se o desenvolvimento por JOHANSSON (1940), quando, trabalhando com a madeira de *Pinus echinata*, encontrou uma correlação altamente significativa entre percentagem de lenho tardio e densidade.

MITCHELL (1956) concluiu que quanto maior for a proporção de lenho tardio em relação ao lenho inicial, dentro de cada anel de crescimento, maior é o rendimento em celulose.

BYRD (1965, GLADSTONE *et alii* (1970), GLADSTONE & IFJU (1974) estudando a celulose produzida a partir de Madeira de lenho inicial e tardio de *Pinus taeda*, observaram um maior rendimento para lenho tardio. Na madeira, o lenho tardio se caracterizou por apresentar menor teor de lignina e maior teor de holocelulose.

A influência sobre as propriedades do papel das fibras obtidas dos tipos de lenhos de *Pinus taeda* e *Pinus radiata* foi investigada por WATSON & DASDSWELL (1962), usando misturas desde 100% de lenho tardio até 100% de lenho inicial. As resistências físico-mecânicas, que dependem das ligações entre as fibras (resistências à tração, ao arrebatamento e dobras duplas), foram melhores quando as folhas eram feitas com celulose de 100% de lenho inicial. As fibras do lenho tardio forneceram importante contribuição quando a celulose era produzida a partir de madeira de *Pinus taeda*. Todavia, seus efeitos foram bem menores no caso da celulose de madeira de *Pinus radiata*.

JONES *et alii* (1966), através de centrifugação, separaram as celuloses dos lenhos inicial e tardio e observaram que a fração referente ao primeiro produziu folhas densas, relativamente não-porosas, com alta resistência ao arrebatamento, baixa resistência ao rasgo e mais lisas que a celulose original da mistura. A fração de lenho tardio formou folhas volumosas, com baixa resistência ao arrebatamento e alta resistência ao rasgo.

BARRICHELO & BRITO (1978) trabalhando com os lenhos separados de *Pinus taeda*, para a produção de celulose Kraft, chegaram praticamente às mesmas conclusões.

PALMER & TABB (1968) produzindo celulose e papel, a partir de madeiras de coníferas desenvolvidas nos trópicos, observaram que a resistência à tração da celulose é mais dependente da habilidade das fibras se ligarem entre si. Por outro lado, a resistência ao rasgo depende mais das resistências individuais das fibras em si.

Confirmando estes fatos, SMITH & BYRD (1972), trabalhando com *Pinus taeda*, concluíram que, embora as fibras do lenho tardio sejam cerca de três vezes mais resistentes que aquelas do lenho inicial, elas forma folhas volumosas e fracas, enquanto que fibras do lenho inicial produzem folhas de alta resistência. Esta diferença básica no comportamento das fibras dos diferentes lenhos responde pela maioria das diferenças nas propriedades da celulose. De fato, devido ao colapso que sofrem e grande flexibilidade, as fibras do lenho inicial tendem a se compactar mais que as fibras do lenho tardio, resultando numa área maior de contacto e cruzamento de fibras que aquelas menos flexíveis do lenho tardio.

Contrariando o que se poderia esperar, FOELKEL *et alii* (1977), trabalhando com *Pinus elliottii*, observaram que as resistências da madeira integral nem sempre foram intermediárias às obtidas para as celuloses dos lenhos isolados. Explicaram o fenômeno pela diferença significativa no tipo de moagem das celuloses dos lenhos isolados. Assim, conduzir-se a celulose da madeira integral a um determinado grau pré-estabelecido. O conjunto de fibras estará, por exemplo, a 40° Schopper Riegler, entretanto, as fibras do lenho tardio, a um maior. Como a capacidade de desenvolver resistência em função da moagem é diferente para ambas, os valores encontrados para a celulose de madeira integral nem sempre são intermediários aos obtidos para as celuloses dos lenhos isolados.

BAREFOOT *et alii* (1964), trabalhando com *Pinus taeda*, observaram que, com exceção de rendimento, pelo menos 93% da variação das propriedades do papel pode ser atribuída à morfologia das fibras.

Sobre as dimensões das fibras, a espessura da parede dos traqueídeos do lenho tardio foi o melhor parâmetro para se prever as propriedades do papel e responderam por, pelo menos, 74% da variação total. Entre as relações das dimensões das fibras, o índice de Runkel foi o melhor parâmetro e respondeu por até 58% da variação total das resistências ensaiadas. Concluíram, ainda, que aquelas características que eram associadas com a densidade da madeira foram predominantes na determinação das propriedades do papel.

BYRD (1965), estudando as características da madeira de *Pinus taeda* e do papel Kraft produzido, observou que o teor de alfa-celulose e resistência ao rasgo. Por outro lado,

a correlação se mostrou negativa com os teores de hemicelulose, extrativos, tempo de moagem e peso específico da folha.

BAREFOOT et alii (1966), trabalhando com *Pinus taeda*, concluíram que os resultados obtidos mostravam que as propriedades da madeira de papel estavam fortemente correlacionadas com as características morfológicas e físicas da madeira. De 60 a 95% da variação total no tempo de moagem, peso específico aparente, resistências à tração, ao arrebentamento e ao rasgo, estavam correlacionadas com as dimensões das fibras do lenho tardio. A espessura das paredes das fibras do lenho tardio foi a mais importante delas, mas, algumas vezes, o comprimento das fibras foi um segundo setor de correlação.

ZOBEL & KELLISON (1971) salientam que a espessura da parede das fibras do lenho tardio, que é altamente correlacionada com a densidade da madeira, tem sido observada por um grande número de investigadores, como sendo a característica mais importante na determinação das propriedades da celulose e papel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAREFOOT, A.C.; HITCHINGS, R.G. & ELLWOOD, E.L. – Wood characteristics and Kraft paper properties of four selected loblolly pines: 1 – Effect of fiber morphology under identical cooking conditions. TAPPI, Atlanta, 46(6): 343-55, 1964.

BAREFOOT, A.C.; HITCHINGS, R.G. & ELLWOOD, E.L. – Wood characteristics and kraft paper properties for four selected loblolly pines: 3 effect of fiber morphology on pulps examined at a constant permanganat number, TAPPI, Atlanta, 49(4): 137-47, 1966.

BAREFOOT, A.C. & HITCHINGS, R.G. – The relationship between loblolly pine fibre morphology and kraft paper properties. Technical bulletin north Carolina Agricultural Experiment station (202), 1970. Apud: *Forestry abstracts*, Oxford, 32(4), 1971.

BARRICHELLO, L.E.G. & BRITO, J.O. – A Madeira de *Pinus taeda* como materia-prima para celulose Kraft. 1 – Influência dos teores de lenhas. CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 3, Manaus, 1978. 18p.

BLAIR, B.L.; ZOBEL, B.J. & BAKER, J.A. – Predictions of gain in pulp yield and tear strength in Young loblolly pine through genetic increases in wood density. TAPPI, Atlanta, 58(1): 89-91, 1975.

BYRD, V.L. – Wood characteristics and kraft paper properties of four selected loblolly pines: part 2 – Wood chemical constituents and their relationship to fiber morphology. *Forest products journal*, Madison, 15(8): 313-20, 1965.

CHANG, C.I. & KENNEDY, R.W. – Influence of specific gravity an growth rate on dry wood production in plantation-grown white spruce. *Forestry Chronicle*, Quebec, 43(2): 165-79 , 1967.

COLE,D.E.; ZOBEL, B.J. & ROBERTS,J.H. – Slash, loblolly and longleaf pine in a mined natural stand. A comparison of their wood properties, pulp yields and paper properties. TAPPI, Atlanta, 49(4): 161-6, 1966.

- DADSWELL, H.E. & NICHOLS, J.W.P. – Assessment of wood qualities for tree breeding. 1. In: *Pinus elliottii* var. *elliottii* from Queensland. Dir. For. Prod. Technol. Pap. Prod. Aust. (4), 1959. 16p. Apud: *Forestry abstracts*, Oxford, 21(2), 1960.
- FOELKEL, C.E.B. & BARRICHELO, L.E.G. – *Tecnologia de cellulose e papel*. Piracicaba, ESALQ/USP, 1975, 207p.
- FOELKEL, C.E.B. et alii – *Pinus elliottii*: fibra longa para produção de celulose. CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, São Paulo, (10): 127-37, 1977.
- GLADSTONE, W.T.; BAREFOOT, A.C. & ZOBLE, B.J. – Kraft pulping of earlywood and latewood from loblolly pine. *Forest products journal*, Madison, 20(20): 17-24, 1970.
- GLADSTONE, W.T. & IFJU, G. – Some influences of wood morphology on kraft pulping of loblolly pine. TAPPI. FOREST BIOLOGY CONFERENCE, Seattle, 1974. p.13-9.
- HILDEBRANT, G. – The effect of growth conditions on the structure and properties of wood. WORLD FORESTRY CONGRESS 5, Washington, 1962. v.3, p.1348-53.
- HOHANSSON, D. – About early-and latewood in Swedish pine and their influence on properties of sulphite and sulphate pulps. *Holz Roh-Werkstoff*, 3: 73-8, 1940.
- KLEM, G.S. – Quality of wood from fertilized forests. TAPPI, Atlanta, 51(11): 99A-103A, 1958.
- LARSON, P.R. – Effect of environment on the percentage of summerwood and specific gravity of slash pine. *Yale University. School of Forestry bulletin*, (63): 1-89, 1957.
- MILLER, S.R. – Variation in inherent wood characteristics in slash pine. CONFERENCE ON FOREST TREE IMPROVEMENT, 5, Raleigh, 1959 (97-106). Apud: *Forestry Abstracts*, Oxford, 21(3), 1960.
- MITCHELL, H.L. – Breeding for high-quality wood. *USDA Forest Service. Products laboratory research paper*, Madison, (2050): 1-13, 1956.
- NAMKOONG, G.; BAREFOOT, A.C. & HITCHINGS, R.G. – Evaluating control of wood quality through breeding. TAPPI, Atlanta, 52(10): 1935-8, 1969.
- PALMER, E.R. & TABB, C.B. – The production of pulp and paper from coniferous species grown in the tropics. *Tropical Science*, London, 10(2): 79-99, 1968.
- PALMER, E.R. & GIBBS, J.A. – Pulping characteristics of the tree of *Pinus caribaea* with different densities grown in Jamaica. *Tropical Products Institute report*, London, (30): 1-23, 1973.

- PALMER, E.R. & GIBBS, J.A. – Pulping characteristics of nine-year old *Pinus caribaea* from Sabah. *Tropical Products Institute report*, London, (25): 1-37, 1974.
- PRONIN, D. & LASSEN, L.E. – Evaluating quaking aspen of Wisconsin for site-quality to wood-quality relationship. *USDA Forest Service. Forest Products laboratory research paper*, Madison, (141): 1-8, 1970.
- RISI, J. & ZELLER, E. – Specific gravity of the wood of black spruce (*Picea mariana* mill) grown on a Hylocomium-cornus site type. *Laval University. Forest Research Foundation* (6): 1-70, 1960.
- SCHNIEWIND, A.P. – The effect of site and other factors on specific gravity and bending strength of California red fir. *Forest science*, Madison, 7(2): 106-15.
- SMITH, W.E. & BYRD, V.L. – Fiber bonding and tensile stress-strain properties of earlywood and latewood hardwoods. *USDA Forest Service. Forest Products laboratory research paper*, Madison, (193): 1-9, 1972.
- TAPPI – Testing Procedures of Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Atlanta, Estados Unidos.
- UPRICHARD, J.M. – Pulp from New Zealand grown *Pinus patula* and *P. taeda*. *Appita*, Melbourne, 24(1): 52-9, 1970.
- VAN BUIJTENEN, J.P. – Controlling wood properties by forest management. TAPPI, Atlanta, 52(2): 257-9, 1969.
- WATSON, A.J. & DADSWELL, H.E. – Influence of fibre morphology on paper properties. 3. Length: diameter (L/D) ratio: 4. Micellar spiral angle. *Appita*, Melbourne, 17(6): 146-80, 1962.
- WATSON, A.J.; HIGGINGS, H.G. & SMITH, W.J. – The pulping and papermaking properties of conifers from Queensland. CSIRO. *Division of Forest Products technological paper*, Melbourne, (61): 1-20, 1971.
- WORRAL, J. et alii – Properties of some Caribbean pine (kraft) pulps and their relationship to wood specific gravity variables. *Wood fibres*, 8(4): 228-34, 1977. Apud: *Forestry abstracts*, Oxford, 49(3), 1978.
- ZOBEL, B.J. – Inheritance of wood properties in conifers. *Silvae genetica*, Frankfurt, 10(3): 65-96, 1961.
- ZOBEL, B.J. & KELLISON, R.C. – Should wood be included in a pine tree improvement programme? 1971. In: BURLEY, J. & NIKKLES, D.G. *Selection and breeding to improve some tropical conifers*. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1973. p.4-12.

ZOBEL, B.J. & RHODES, R.R. – Relationship of wood specific gravity in loblolly pine to growth and environmental factor. *Texas Forest service technical report*, (11): 1-32, 1955.

ZOBEL, B.J.; JETT, B.J. & HUTTO, R. – Improving wood density of short-rotation southern pines. TAPPI, Atlanta, 61(3): 41-4, 1978.

ZOBEL, B.J.; THORBJORSEN, E. & HENSON, F. – Geographic, site and individual tree variation in wood properties of loblolly pine. *Silvae Genetica*, Frankfurt, 9(6): 149-58, 1960.

Esta publicação é editada pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, convênio Departamento de Silvicultura da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo.

É proibida a reprodução total ou parcial dos artigos publicados nesta circular, sem autorização da comissão editorial.

Periodicidade – irregular

Permuta com publicações florestais

Endereço:

IPEF – Biblioteca
ESALQ-USP
Caixa Postal, 9
Fone: 33-2080
13.400 – Piracicaba – SP
Brasil

Comissão Editorial da publicação do IPEF:

Marialice Metzker Poggiani – Bibliotecária
Walter Sales Jacob
Comissão de Pesquisa do Departamento de Silvicultura – ESALQ-USP
Prof. Hilton Thadeu Zarate do Couto
Prof. João Walter Simões
Prof. Mário Ferreira

Diretoria do IPEF:

Diretor Científico – Prof. João Walter Simões
Diretor Técnico – Prof. Helládio do Amaral Mello
Diretor Administrativo – Nelson Barbosa Leite

Responsável por Divulgação e Integração – IPEF

José Elidney Pinto Junior