

Impactos da sazonalidade nas propriedades da madeira e da celulose no Sul do Brasil e Sul dos Estados Unidos

Seasonality impacts upon wood and pulp properties in Southern Brazil and the Southern United States

Autores/Authors*: Hart, P. W.¹
Samistraro, G.²

Palavras-chave: Madeira, *Pinus taeda*, polpação, variações sazonais na estação chuvosa

RESUMO

Foram constatadas diferenças razoavelmente grandes na variação climática sazonal entre o Sul do Brasil e o Sudeste dos Estados Unidos. Diferenças nas variações sazonais de pluviosidade e temperatura causam mudanças recorrentes significativas no teor de umidade, conteúdo de casca, astilhas e finos nos cavacos de *Pinus taeda* processados no Sul dos Estados Unidos, enquanto no Sul do Brasil são observadas diferenças pouco relevantes. O clima mais ameno e a variação sazonal consideravelmente mais reduzida no Sul do Brasil resultam em árvores de *P. taeda* com peso específico mais baixo e cerca de três vezes mais fibras do lenho inicial do que do lenho tardio em comparação às árvores crescidas no Sudeste dos Estados Unidos. Este estudo estabeleceu a grandeza das variações sazonais em ambas as localidades, Sul dos Estados Unidos e Sul do Brasil. O estudo determinou também a percentagem de fibras do lenho inicial e do lenho tardio para essas duas regiões. Foram realizados estudos com polpação em laboratório para determinar a influência dessas diferenças sobre as fibras e, com isso, sobre as propriedades físicas da celulose kraft resultante. A maior percentagem de fibras do lenho inicial resulta em celulose classe branqueável com fibra de menor resistência intrínseca e menor resistência a rasgo e tração. Por outro lado, a grande percentagem de fibras do lenho inicial concorre para notável aumento no índice de ligação interfibras Pulmac e maior resistência ao arrebentamento (Mullen). A resistência à ruptura da madeira estrutural (comercial) produzida com pinho do Sul do Brasil, medida como módulo de elasticidade, é também significa-

Keywords: Lumber, *Pinus taeda*, pulping, seasonal variations in rainfall

ABSTRACT

Fairly large differences in seasonal climate variation have been determined to exist between Brazil and the southeastern United States. Differences in the seasonal variations in rainfall and temperature result significant recurring changes in the moisture content, bark content, and pins and fines content of *Pinus taeda* chips being processed in the Southern US, while only minor differences occur in Southern Brazil. The milder climate and the significantly reduced seasonal variation in Southern Brazil result in *P. taeda* trees with lower specific gravity and about three times more earlywood to latewood fibers than trees grown within the Southern US. The current study determined the magnitude of seasonal variations for both the Southern US and for Brazil. The study further determined the percentage of earlywood and latewood fibers in the two locations. Controlled laboratory pulping studies were performed to determine the impact of these fiber differences upon the resulting kraft pulp physical properties. The increased percentage of earlywood fibers results in bleachable grade pine pulp with reduced intrinsic fiber strength and reduced tear and tensile strength. The large percentage of earlywood fibers also results in a significant increase in the Pulmac fiber bonding index and increased Mullen strength. The rupture strength, measured as modulus of elasticity, of structural lumber produced from Southern Brazil pine is also significantly lower than

*Referências dos autores / Authors' references:

1. MeadWestvaco Corporation, Atlanta, GA 30309, USA / MeadWestvaco Corporation, Atlanta, GA 30309, USA
2. Rigesa Ltda., Três Barras (SC), Brasil / Rigesa Ltda., Três Barras (SC), Brazil

Autor correspondente / Corresponding author: peter.hart@mww.com

tivamente menor do que a resistência à ruptura da madeira estrutural produzida com árvores crescidas no Sul dos EUA.

INTRODUÇÃO

Foi comprovado que as variações sazonais no Sul dos Estados Unidos influenciam custos, qualidade, desempenho da polpação e rendimento de ambas as madeiras, de coníferas e de folhosas [1]. Processamento da madeira em tempo frio associado a teor de umidade mais alto demanda pouco mais que 0,5 tonelada de madeira verde para produzir a mesma tonelada de fibras absolutamente secas nos meses mais quentes do verão. As mudanças sazonais no teor de umidade da madeira em combinação com mais astilhas, finos e casca nos cavacos alimentados ao digestor foram constatadas como relativamente consistentes ao longo dos anos. Para uma fábrica do Sul dos EUA com custo da madeira verde de US\$49,50/tonelada, a alteração sazonal na madeira e no seu processamento pode resultar em oscilação de custo superior a US\$600 mil entre os meses de menor e de maior custo de operação. Já foi feita análise detalhada dessas mudanças sazonais relacionada a fábricas do Sul dos EUA, informada em outra parte [1]. Este trabalho realizou um estudo multianual centrado na fábrica de Três Barras (Estado de Santa Catarina, Sul do Brasil) e no Sudeste dos Estados Unidos, em que se incluem os Estados da Carolina do Sul, Virgínia, Alabama e Texas. O presente estudo foi realizado com o objetivo de entender melhor a influência das diferentes mudanças climáticas sazonais no crescimento da madeira e na influência que essas mudanças têm no custo de operação, rendimento em celulose e resistência, no Brasil e no Sul dos EUA.

MATERIAIS E MÉTODOS

Dados de longo prazo sobre clima, umidade da madeira e qualidade foram obtidos de diferentes fábricas do Sul dos EUA e da fábrica da Rigesa em Três Barras (SC), Brasil. Dados de longo prazo sobre temperatura e pluviosidade de Summerville (Carolina do Sul) foram obtidos do *website* da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) [4].

Foram feitos vários cozimentos kraft de 800 gramas as (absolutamente seco) de *P. taeda* em digestores descontínuos (*batch*) de laboratório M/K (M/K Systems, Inc. – EUA). Em todos os cozimentos de laboratório foi utilizado licor branco sintético. O álcali efetivo foi variado de 14% a 18% sobre madeira seca, com sulfidez de 22% a 28%. Todos os cozimentos levaram 90 minutos até temperatura máxima de cozimento de 160°C a 175°C. O tempo de cozimento na temperatura foi variado entre 80 e 90 minutos. Álcali efetivo, temperatura máxima de cozimento e permanência na temperatura máxima foram variados para obtenção de fatores H semelhantes, condições de cozimento semelhantes ou números kappa semelhantes. Além disso, foram realizados alguns cozimentos em escala maior (80 kg as) em

the rupture strength of lumber produced from trees grown in the Southern US.

INTRODUCTION

Seasonal variations in the Southern United States have been documented to impact the cost, quality, pulping performance and yield of both softwood and hardwoods [1]. Cold weather processing of wood in conjunction with higher moisture contents result in a little over 0.5 green ton more wood being required to process one ton of bone dry fiber as compared to the warmer summer months. The seasonal changes in wood moisture content in conjunction with increased pins, fines and bark in the chips going to the digester have been found to be relatively consistent from year to year. For a 900 tons per day Southern US mill with a wood cost of \$49.50/green ton, the seasonal changes in wood and wood processing can result in cost swings of over \$600,000 US between the lowest cost operating months and the highest cost operating months. A detailed analysis of these seasonal changes for Southern US mills has been performed and is reported elsewhere [1]. The current work performed a multi-year study focused upon Três Barras (Santa Catarina State, in Southern Brazil) and the Southeastern United States, including South Carolina, Virginia, Alabama and Texas. This study was performed in order to better understand the influence of the different seasonal climate changes upon wood growth, and the resulting impact these changes have on operating cost, pulp yield and strength, in Brazil and the Southern US.

MATERIAL AND METHODS

Long-term climate, wood moisture and quality data were obtained from several mills within the Southern US and from the Rigesa mill in Três Barras, Brazil. Long-term temperature and rainfall data for Summerville (South Carolina), were obtained from the NOAA website [4].

Several 800 od gram P. taeda kraft cooks were performed in M/K laboratory batch digesters (M/K Systems, Inc. – USA). Synthetic white liquor was employed in all of the lab cooks. Effective alkali was varied from 14% to 18% on od wood, with a sulfidity of 22% to 28%. All cooks took 90 minutes to a maximum cooking temperature of 160°C to 175°C. Cooking time at temperature was allowed to vary between 80 and 90 minutes. Effective alkali, maximum cooking temperature and time at temperature were varied to obtain similar H factors, similar cooking conditions or similar kappa numbers. In addition, several large scale (80 od kg) batch digester cooks were performed with the large batch digester, at the Andritz pilot plant

digestor descontínuo, com o digestor batch grande da planta piloto da Andritz, em Springfield (OH), EUA. Álcali efetivo e tempo de cozimento foram ajustados para resultados de números kappa apropriados a celulose classe branqueável. Tipicamente, foram realizados e misturados dois ou três cozimentos para cada programa de condições de polpação. Os números kappa variaram de 115 a 20 para fins de comparação de diferentes propriedades. Os cavacos de pinus foram obtidos da fábrica de Três Barras, em Santa Catarina (Brasil) e das fábricas americanas de Charleston (Carolina do Sul); Marht, em Cottonton (AL) e Evadale (TX).

Para a maioria desses cozimentos foram determinados: número kappa, mL; viscosidade, cP; álcali residual, g/L; alvura, % ISO; extrativos, % em DCM (diclorometano); ácido hexenurônico, mmol/kg e rendimento em celulose, % sobre madeira as. Cozimentos selecionados foram submetidos a refino em moinho Valley e os testes de propriedades físicas foram feitos conforme métodos TAPPI. Os resultados desses testes são mostrados na **Tabela 1**.

Foram tomadas aleatoriamente mais que 200 fotografias digitais de seções transversais de troncos no pátio de madeira de Três Barras e no pátio de madeira da fábrica de Evadale. Essas fotos foram feitas ao longo de vários meses de operação em ambas as localidades. Nessas fotos foi feita análise de imagem para a determinação do volume percentual de casca, de fibras do lenho inicial e de fibras do lenho tardio. O peso específico livre de extrativos foi determinado mediante métodos-padrão estabelecidos.

MUDANÇAS SAZONAIS RELACIONADAS AO CLIMA

Sudeste Estados Unidos: Foram relatadas mudanças recorrentes significativas no teor de umidade dos cavacos de pinus de madeira do Sul dos Estados Unidos. A **Figura 1**

in Springfield (OH). Effective alkali and cooking time were adjusted to obtain target bleachable grade kappa numbers. Typically, two to three cooks were performed and blended for each set of pulping conditions. Kappa numbers ranged from 115 to 20 for various property comparisons. Pine chips were obtained from the Três Barras mill, in Santa Catarina (Brazil); Charleston mill, in South Carolina (USA); from the Marht, Cottonton (AL) mill and from the Evadale (TX) mill.

*Kappa number, mL; viscosity, cP; residual alkali, g/L; brightness, % ISO; extractives, % in DCM; hexenuronic acid, mmol/kg; and pulp yield, % on od wood were determined for the majority of these cooks. Selected cooks were subjected to Valley beating and physical property testing according to TAPPI standards. The results from these tests are shown in **Table 1**.*

Over 200 digital photographs were randomly taken of logs cross sections in the Três Barras woodyard and in the Evadale woodyard. These photos were taken over several months of operation in both locations. Image analysis was performed on these photographs to determine the volume percentage of bark, early wood and late wood fibers. Extractive-free specific gravity was determined using standard accepted methods.

SEASONAL CHANGES RELATED TO WEATHER

Southeastern United States: Significant recurring seasonal changes in the moisture content of pine chips have been reported in wood obtained in the Southern

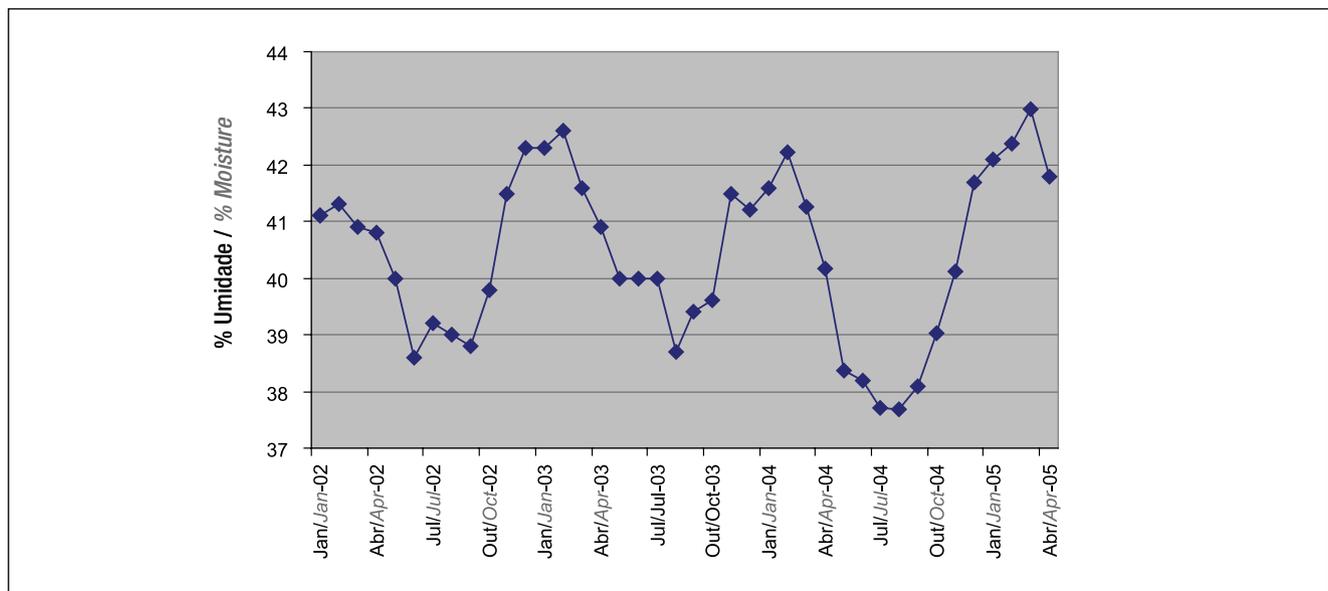


Figura 1. Conteúdo de umidade dos cavacos de pinus dos Estados Unidos durante um período de 40 meses / **Figure 1.** Moisture content of United States pine chips over a 40-month period

registra o conteúdo de umidade de cavacos de pinus alimentados ao digestor durante um período de 40 meses consecutivos. Em geral, ocorre variação em teor de umidade de 4,5 pontos percentuais entre os meses mais secos de julho e agosto e os mais úmidos de janeiro e fevereiro.

Além das substanciais elevações do teor de umidade, no período de janeiro a março também ocorrem variáveis negativas no processo. Devido a dificuldades no suprimento de madeira durante os meses de inverno, a fábrica necessita processar madeira com diâmetro menor ou parcialmente congelada, do que resulta aumento do percentual de casca nos cavacos alimentados ao digestor. Mesmo quando uma fábrica americana colhe pinus de plantações em terras altas, procedimentos de sustentação florestal relacionados com colheita em clima úmido, inverno e início da primavera resultam em distúrbios no suprimento. O reinício do fluxo de seiva na árvore no começo da primavera também contribui para aumentos nas quantidades de casca e de resina que acessam a fábrica durante fevereiro e março. A **Figura 2** mostra as variações em conteúdo de casca dos cavacos de pinus ao longo de 16 meses. A variação sazonal entre os meses de verão (menor percentagem) e os meses de inverno (maior percentagem) tende a ser da ordem de 1,5 pontos percentuais de casca, ou seja, diferença superior a 50% na quantidade total de casca alimentada aos digestores entre os meses de verão e de inverno. Foi comprovado que polpação de casca, em vez de polpação de boa madeira clara, resulta em diminuição do rendimento de celulose [2].

Outra alteração de processamento negativa consequente de mudanças do clima está associada com perdas de madeira. Quando madeira congelada é picada e classificada, especialmente pinus, ela tende a lascar, fraturar e estilhaçar [3]. Resultado neto é o aumento da quantidade de astilhas e de finos produzidos.

United States. **Figure 1** plots the moisture content of pine chips entering the digester over a consecutive 40-month period. In general, a 4.5-point change in moisture content occurs between the driest months of July and August to the wettest months in January and February.

In addition to substantial increases in moisture content, negative processing variables also occur in the January through March timeframe. Due to the difficulty in obtaining wood during the winter months, smaller diameter, partially frozen wood is processed in the mill resulting in an increase in the percentage of bark in the chips entering the digester. Even when a US mill is harvesting pine from upland plantations, sustainable forestry initiatives dealing with harvesting in wet, winter and early spring weather result in supply issues. The onset of sap flow in the early spring also results in increases in bark and pitch entering the mill in the February through March timeframe. **Figure 2** shows variations in percentage pine chip bark content over a 16-month time span. The seasonal variation between the summer months (lower percentage) and the winter months (higher percentage) tends to be on the order of 1.5 percentage points of bark, or an increase of over 50% in the total amount of bark being fed to the digesters between the summer and winter months. Pulping bark instead of pulping good white wood has been documented to result in decreased pulp yield [2].

Another negative processing change resulting from changes in weather is associated with wood losses. When frozen wood is chipped and screened, especially pine, it tends to splinter, fracture and shatter [3]. The net result is an increase in the amount of pins and fines produced.

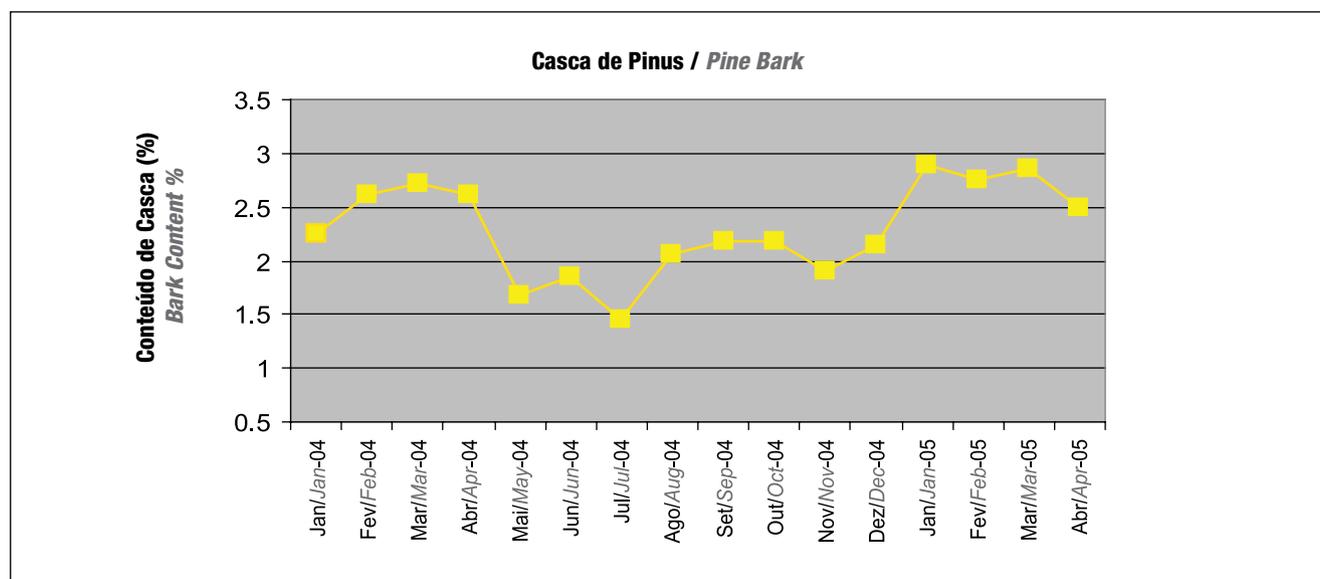


Figura 2. Variação sazonal do conteúdo de casca nos cavacos alimentados ao digestor em fábrica do Sul dos EUA

Figure 2. Seasonal changes in the bark content of chips going to the digester in a Southern US mill

A **Figura 3** reproduz uma comparação dos finos de pinus produzidos em função da variação da temperatura média mensal durante período de 15 meses. Temperaturas mais baixas correspondem a substancial aumento na formação de astilhas e finos. A variação sazonal típica em conteúdo de finos nos cavacos é da ordem de 1 ponto percentual.

Sul do Brasil: Logo que foi definida a influência da sazonalidade sobre o rendimento da polpação no Sudeste dos EUA, examinamos as mesmas influências sobre o mix de madeiras do Sul do Brasil. Em termos gerais, como mostrado na **Figura 4**, foi constatada a mesma tendência de teor de umidade mais alto nos meses de meados do inverno e mais baixo durante os meses tardios do verão. Contudo, em vez da variação de cinco pontos o conteúdo de umidade variou somente cerca de 1,7 pontos percentuais. Além disso, a temperatura no Sul do Brasil demonstrou ser consideravelmente menos variável do que no Sudeste dos EUA.

Figure 3 shows a comparison of the pine fines produced with the average monthly temperature over a 15-month period. Lower temperature corresponds to a substantial increase in pins and fines production. Typical seasonal variation in fines content of the chips is on the order of about 1 percentage point.

Southern Brazil: Once the influence of seasonality upon pulping yield was established for the Southeastern US, we examined the similar influences upon the Southern Brazil wood basket. In general, as shown in **Figure 4**, the same trend of higher moisture content occurring during the mid winter months and lower moisture content occurring during the later summer months was noted. However, instead of varying by 5 points, the moisture content only varied by around 1.7 points. Additionally, the temperature in Southern Brazil was found to be considerably less variable than in the Southeastern US.

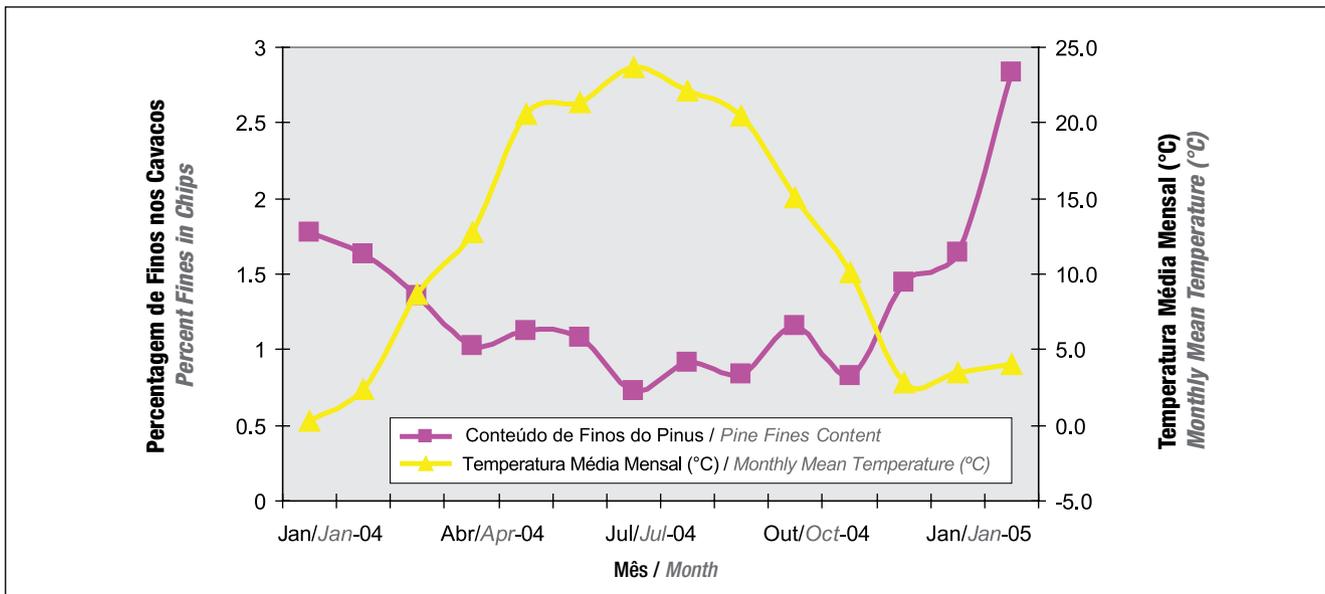


Figura 3. Variações sazonais da temperatura média e da percentagem de finos produzidos com cavacos de pinus do Sul dos EUA
Figure 3. Seasonal changes in mean temperature and in the percentage of fines produced in Southern US pine chips

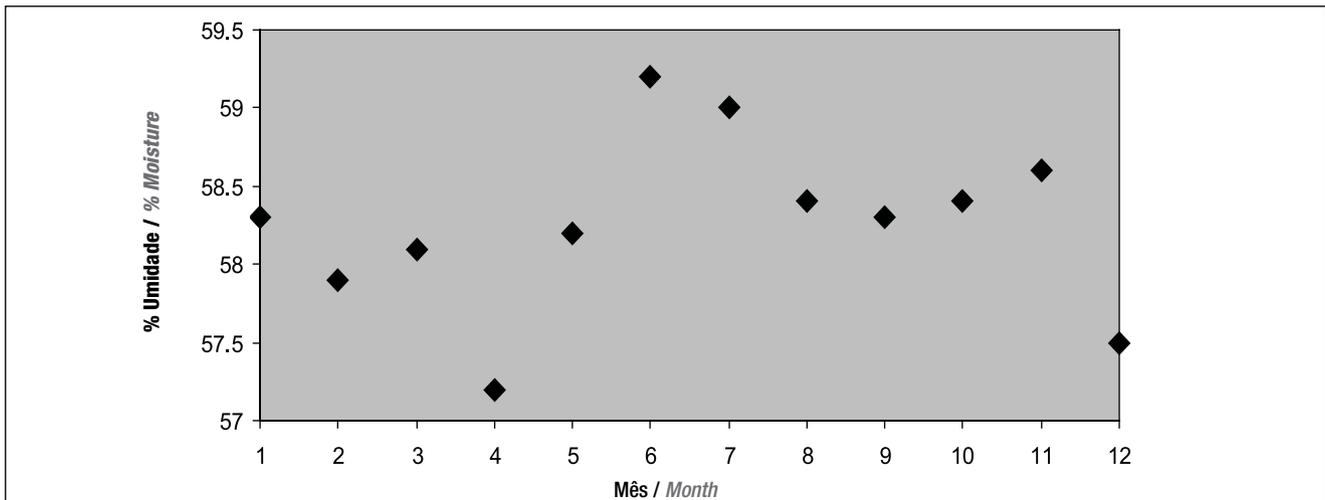


Figura 4. Teor médio mensal de umidade dos cavacos de pinus brasileiro durante período de três anos
Figure 4. Average moisture content of Brazilian pine chips by month over a three-year period

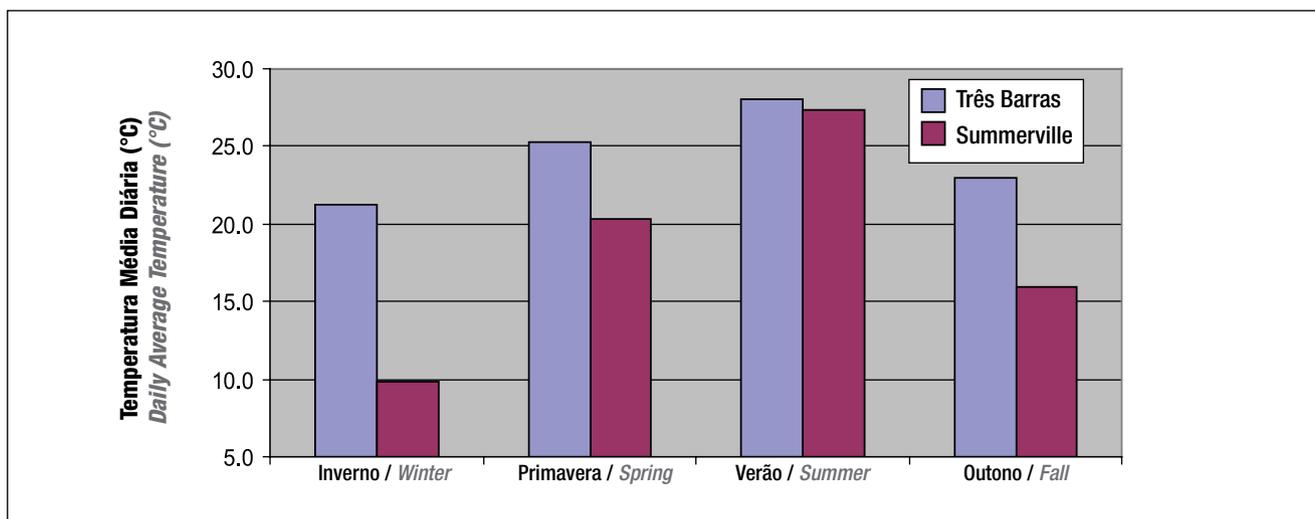


Figura 5. Temperaturas médias diárias para o Sul do Brasil e Sul dos EUA por estação / **Figure 5.** Daily average temperatures for Southern Brazil and the Southern US by season

A **Figura 5** mostra a temperatura sazonal média no Sudoeste dos EUA, aqui representada por Summerville (Carolina do Sul) [4], *versus* a temperatura sazonal média do Sul do Brasil, representada por Três Barras (Santa Catarina). A temperatura no Sudeste dos EUA varia em média cerca de 18°C entre verão e inverno, enquanto a temperatura no Sul do Brasil varia somente cerca de 6°C. Em consequência, descascamento e geração de astilhas e finos não foram significativamente influenciados por condições prolongadas de processamento em clima mais frio. A diferença do resultado neto decorrente do impacto das mudanças sazonais entre os meses de maior e de menor custo de uma fábrica no Sul do Brasil seria de somente cerca de US\$146.500 *versus* cerca de US\$600 mil para a fábrica no Sudeste dos EUA. Essas diferenças em custo consideram preço de US\$49,50/tonelada de madeira verde e procedem de mudanças sazonais no teor de umidade da madeira, assim como do aumento de astilhas e finos e de casca na madeira causadas pelo processamento em clima frio. Quanto a consumo de madeira verde por tonelada de celulose fabricada, nos EUA a operação durante os meses frios requer pouco acima de 0,5 tonelada a mais de madeira por tonelada produzida, enquanto o Sul do Brasil demanda somente 0,16 tonelada mais de madeira verde por tonelada de celulose fabricada durante operação no inverno. Uma análise detalhada dos custos sazonais associados com polpação no Sul dos EUA é informada em outro documento [1].

CRESCIMENTO SAZONAL DA ÁRVORE

O crescimento vegetativo no Sul do Brasil tende a ser influenciado favoravelmente pelo clima da região, em que há moderadas tendências primaveris ao longo de todo o ano em comparação ao clima do Sul dos EUA. Além de apresentar mudanças sazonais de temperatura relativamente pequenas,

Figure 5 shows the average seasonal temperature of the Southeastern US, as represented by Summerville (South Carolina) [4] versus the average seasonal temperature for Southern Brazil as represented by Três Barras (Santa Catarina). The temperature in the Southern US varies on average about 18°C between summer and winter, while the temperature in Southern Brazil only varies around 6°C. Thus, debarking and pins and fines generation were not significantly impacted by prolonged colder weather processing conditions. The net result of the impact of seasonal changes upon mill operating costs for a mill in Southern Brazil would be only around \$146,500 US from the highest cost to the lowest cost month versus about \$600,000 for the Southern US mill. These cost changes assume a wood cost of \$49.50/green ton and result from seasonal changes in moisture content of the wood, and increases in pins, fines and bark in the wood resulting from cold weather processing. In terms of green wood consumption per ton of pulp produced, Southern US processing requires a little over 0.5 green ton more wood per ton of pulp produced during the winter months, while Southern Brazil only requires 0.16 more ton of green wood per ton of pulp for winter processing. A detailed analysis of the seasonal costs associated with pulping in the Southern US has been reported elsewhere [1].

SEASONAL TREE GROWTH

Tree growth in Southern Brazil tends to be impacted positively by the climate of the region, exhibiting moderate spring like tendencies year round when compared to the Southern US climate. In addition to having relatively small seasonal changes in

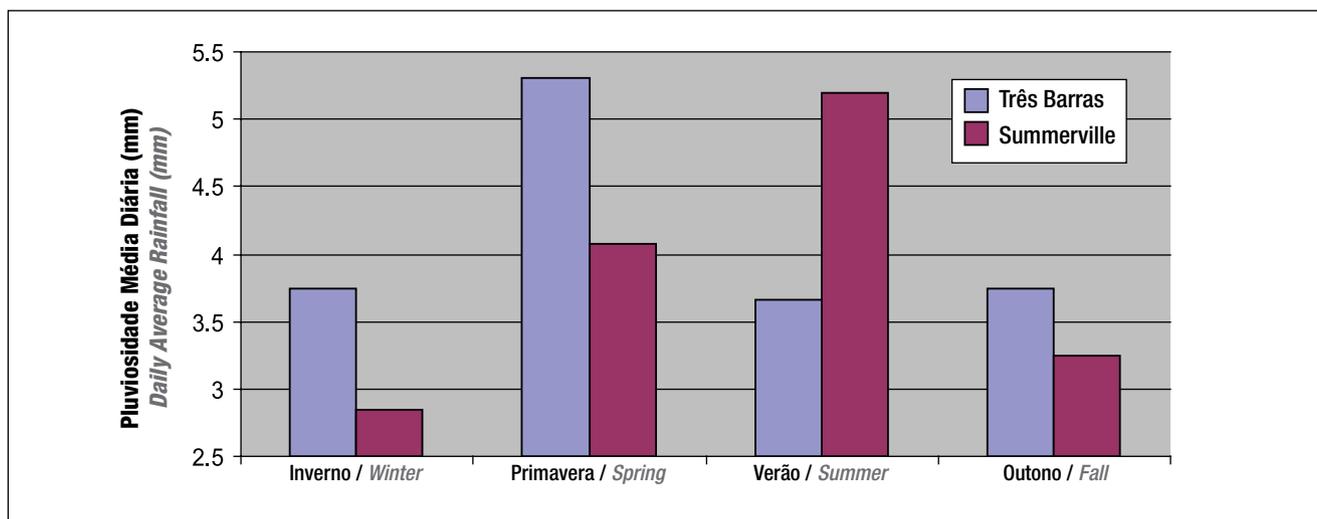


Figura 6. Pluviosidade média diária por estação no Sul do Brasil e Sul dos EUA / **Figure 6.** Average daily rainfall by season for Southern Brazil and the Southern US

o clima do Sul do Brasil também tem nível significativo e relativamente constante de pluviosidade média diária. A **Figura 6** indica a pluviosidade média diária do Sul dos EUA versus Sul do Brasil. No que se refere a temperatura, o Sul do Brasil tende a ter semelhança com as condições primaveris do Sul dos EUA durante todo o ano. Além disso, as variações sazonais no Sul do Brasil não tipificam uma estação seca como acontece com o clima do Sul dos EUA. Tem sido amplamente documentado que níveis constantes de pluviosidade média diária moderados e condições de crescimento relativamente brandas podem resultar em substancial aumento da quantidade anual de madeira produzida pela árvore [5, 6]. Como mostrado na Figura 6, a pluviosidade média diária no Brasil foi constatada como sendo cerca de 4,11 mm, enquanto a pluviosidade média diária no Sul dos EUA foi de somente 3,84 mm.

A diferença sazonal da pluviosidade média diária foi de somente 1,64 mm no Brasil, e de 2,34 mm no Sul dos EUA. Além disso, três estações - verão, outono e inverno -, têm no Brasil pluviosidade diária média uniforme de cerca de 3,66 a 3,74 mm. A pluviosidade média diária nos EUA varia consideravelmente entre estações, com níveis de chuva muito baixos nos meses de inverno. Devido à substancial e continuada quantidade de chuva no Sul do Brasil, e associada a temperaturas moderadas, as árvores desta região do Brasil têm anéis anuais de crescimento maiores do que aqueles das árvores do Sul dos EUA. A **Figura 7** mostra uma comparação direta entre anéis de crescimento anuais de árvores colhidas no Sul do Brasil e no Sudoeste dos EUA. Como indicado na figura, as árvores brasileiras têm anéis de crescimento consideravelmente maiores do que as árvores dos EUA. Além de possuir anéis de crescimento maiores, as árvores do Brasil também têm percentagem notavelmente maior de fibras do lenho inicial do que do lenho tardio. Análises de imagem de

*temperature, the climate in Southern Brazil also has a significant and relatively constant level of average daily rainfall. **Figure 6** shows the seasonal average daily rainfall for the Southern US versus Southern Brazil. As with the temperature, the Southern Brazil tends to be similar to the spring like conditions in the Southern US year round. Additionally, the seasonal variations in Southern Brazil do not exhibit a distinct dry season as the climate within the Southern US. It has been well documented that continued moderate levels of daily average rainfall and relatively mild growing conditions can result in substantial increases in the annual amount of wood produced by a tree [5, 6]. As shown in Figure 6, the daily average rainfall in Brazil was determined to be about 4.11 mm, while the daily average rainfall in the Southern US was only 3.84 mm.*

*The seasonal difference in average daily rainfall was only 1.64 mm for Brazil and 2.34 mm for the Southern US. Additionally, three seasons - summer, fall and winter -, in Brazil have uniform average daily rainfall of between 3.66 to 3.74 mm. The daily average rainfall in the US varies considerably from season to season, with very low levels of rain in the winter months. As a result of the substantial and continual amount of rainfall in Southern Brazil in conjunction with the mild temperatures, the trees in Southern Brazil have larger annual rings than the trees in the Southern US. **Figure 7** shows a direct comparison of annual growth rings of trees harvested in Southern Brazil and in the Southeastern US. As shown in the figure, the Brazilian trees have considerably larger growth rings than the US trees do. In addition to having larger growth rings, the trees from Brazil also have a significantly increased percentage of earlywood to latewood fibers. Images*



Figura 7. Anéis de crescimento anual de árvores de pinus colhidas no Sul do Brasil (esquerda) *versus* anéis de crescimento anual de árvores colhidas no Sudeste dos EUA (direita) / **Figure 7.** Annual growth rings of pine trees harvested in Southern Brazil (left) *versus* annual growth rings of trees harvested in Southeastern US (right)

mais de 200 cortes de troncos do Sul do Brasil e do Sudeste dos EUA tomadas aleatoriamente têm comprovado que as árvores brasileiras possuem cerca de 78% - 79% de fibras do lenho inicial, enquanto as árvores dos EUA têm somente 45% - 46% de fibras deste tipo de lenho. É sabido que o começo da formação do lenho inicial é originado pela temperatura e pela quantidade de auxinas (hormônios de crescimento da planta) governadas pela duração do dia e da noite em dada localidade [7]. Com isso, as árvores crescidas no Sul dos EUA e as árvores crescidas no Sul do Brasil deveriam ter uma proporção semelhante de lenho inicial e de lenho tardio.

Contudo, foi também claramente documentado que a influência do clima pode causar notável atraso ao início da formação do lenho tardio [8 - 11]. Assim, o clima do Sul do Brasil tende a favorecer o crescimento do lenho inicial, do que resultam anéis de crescimento maiores devido ao desenvolvimento de grandes diâmetros, e formação de traqueídeos do lenho inicial com parede mais fina. O resultado neto desses grandes anéis de crescimento e percentagem significativamente mais alta de lenho inicial é que o peso específico (densidade) das árvores brasileiras é notavelmente mais baixo do que o peso específico das árvores do Sudeste dos EUA. A **Figura 8** mostra o peso específico de árvores colhidas em três diferentes localidades do Sudeste dos EUA e em Três Barras (Brasil).

Geralmente, quando comparada à fibra obtida no Sul dos EUA, a combinação de baixo peso específico e expressivo aumento da percentagem de células com parede muito fina do lenho inicial resulta em importante diminuição da resistência física, tanto da madeira estrutural (comercial) como da

analyses of more than 200 randomly selected butt cuts from Brazil and the southeastern US have shown that the Brazil trees have about 78% - 79% earlywood fibers, while the trees from the US have only 45% - 46% earlywood fibers. It is well known that the onset of earlywood formation is initiated by the temperature and the amount of auxins (plant growth hormones) regulated by the length of the day and night at a given location [7]. As such, the trees grown in the Southern US and the trees grown in Southern Brazil should have a similar ratio of early and latewood.

*However, it has also been well documented that the impact of climate can significantly delay the onset of latewood formation [8 - 11]. Thus, the climate in Southern Brazil tends to favor earlywood growth and result in larger growth rings through the promulgation of larger diameter, thinner walled earlywood tracheid formation. The net result of having these large growth rings and a significantly higher percentage of earlywood is that the specific gravity of the Brazilian trees is significantly lower than the specific gravity of the trees harvested in the Southeastern US. **Figure 8** shows the specific gravity of trees harvested in three different locations within the Southern US and in Três Barras (Brazil).*

In general, when compared to the fiber obtained from the Southern US, the combination of a low specific gravity in conjunction with a significant increased percentage of very thin walled earlywood cells results in a significant decrease in physical strength in both,

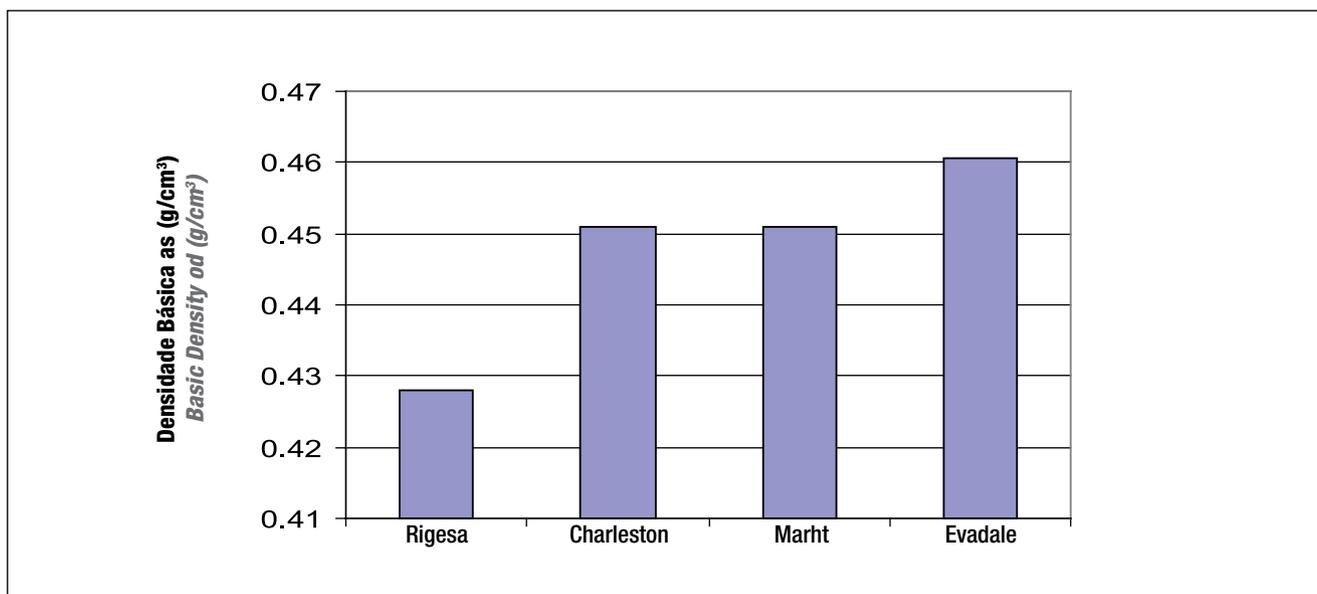


Figura 8. Peso específico de *Pinus taeda* colhido no Sul do Brasil e no Sudeste dos EUA / **Figure 8.** Specific gravity of *Pinus taeda* harvested in Southern Brazil and the Southeastern US

celulose tipo branqueável produzidas com árvores do Sul do Brasil. Algumas amostras de madeira estrutural feitas com toras de diâmetro semelhante e colhidas em plantações da região Sudeste dos EUA e do Sul do Brasil foram submetidas a testes de ruptura.

Foi comprovado que a madeira estrutural (comercial) brasileira possui, em média, somente 41% da resistência à ruptura mostrada pela madeira estrutural produzida com árvores do Sul dos EUA. O módulo de elasticidade ($E - Young$) da madeira brasileira foi determinado como sendo de 5,8 GPa, enquanto o módulo de elasticidade da madeira do Sul dos EUA foi de 14,2 GPa.

Quando árvores de pinus são convertidas em celulose classe branqueável, ou seja, em fibras individuais, as fibras com parede mais espessa do lenho tardio oferecem maior rigidez e melhor capacidade para suportar cargas estruturais mais pesadas do que as grandes fibras de parede fina do lenho inicial. As fibras de parede fina do lenho inicial são muito mais flexíveis e propensas a colapsar, com isso vindo favorecer a ligação interfibras. Fibras do lenho tardio permanecem duras e rígidas [12]. Para a celulose brasileira foi constatado um índice Pulmac de ligação interfibras mais que 15% superior àquele demonstrado pela celulose de madeira do Sul dos EUA. A relação da ligação interfibras Pulmac foi de 2,14 para a celulose brasileira e de 1,87 para a celulose do Sul dos EUA. Como dito anteriormente, a celulose obtida da madeira brasileira tem quantidade significativamente menor de fibras com parede espessa do lenho tardio do que a celulose produzida de *Pinus taeda* do Sul dos Estados Unidos.

structural lumber and in bleachable grade pulp made from the trees in Southern Brazil. Several samples of structural lumber made with logs of similar diameter and harvested in plantations from the southeastern part of the United States and from the Southern Brazil were subjected to rupture tests.

It has been shown that the Brazilian lumber exhibits, on average, only 41% of the rupture strength as compared to structural lumber cut from the Southern US trees. The modulus of elasticity (MOE) for the Brazilian lumber was determined to be 5.8 GPa, while the MOE for the Southern US lumber was 14.2 GPa.

When pine trees are pulped to bleachable grade kappa numbers, i.e. to individual fibers, the thicker walled latewood fibers tend to be stiffer and more capable of supporting much heavier structural loads than the large, thin walled earlywood fibers. Thin walled early wood fibers are much more flexible and prone to collapse, promoting interfiber bonding. Latewood fiber remains stiff and rigid [12]. Pulmac fiber bonding was found to be increased by over 15% for Brazilian pulp as compared to pulp made from the Southern US wood. The Pulmac fiber bonding ratio was 2.14 for the Brazilian pulp and 1.87 for the pulp from the Southern US. As reported above, the pulp obtained from the Brazilian wood has a significantly lower amount of thick walled latewood fiber than the pulp obtained from the loblolly pine obtained from the Southern United States.

Tabela 1. Propriedades físicas de celuloses produzidas com pinus brasileiro e do Sul dos EUA. O número kappa da celulose brasileira é 27,3, enquanto o número kappa da celulose do Sul dos EUA é 25,8 / **Table I.** Physical properties of pulps made from Brazilian and Southern US pines. Kappa number of the Brazil pulp is 27.3, while the Southern US pulp kappa number is 25.8

Grau de Refino CSF (mL) Freeness - CSF (mL)		Comprimento de Ruptura (m) Breaking Length (m)		Índice de Rasgo (mN•m ² /g) Tear Index (mN•m ² /g)		Índice de Arrebetamento (kPa•m ² /g) Burst Index (kPa•m ² /g)	
Brasil / Brazil	EUA / US	Brasil / Brazil	EUA / US	Brasil / Brazil	EUA / US	Brasil / Brazil	EUA / US
728	740	3295	3980	17,2	21,6	4,0	3,3
695	720	3781	4646	15,8	20,3	5,5	4,4
563	601	6298	7342	13,4	17,1	6,5	5,8
410	462	7432	8357	11,9	14,6	6,8	6,1
236	285	7856	8844	10,7	13,7	7,1	6,3

A predominância de fibras do lenho inicial em celulose classe branqueável resulta em expressiva diminuição da quantidade de material de parede celular disponível para resistir a forças de tração. Estudos de polpação realizados por Barefoot *et al.* têm constatado que a espessura da parede da célula do lenho tardio exerce a influência mais relevante sobre várias propriedades de resistência da polpa [13]. Como a celulose tipo branqueável produzida com madeira brasileira tem quantidade significativamente menor de material de parede celular em comparação a celulose de madeira do Sul dos EUA devido a sua alta percentagem de fibras de parede fina do lenho inicial, essa celulose branqueável de fibras brasileiras requer tempo consideravelmente mais curto de refino, mas também apresenta menor índice de arrebetamento, de comprimento de ruptura e de fator de rasgo. A **Tabela 1** registra o desenvolvimento do grau de refino e também dados de propriedades físicas da média de três cozimentos para celulose branqueável de pinus brasileiro e de pinus do Sul dos EUA. A resistência intrínseca da fibra medida por aparelho Pulmac para teste de resistência de fibras mostra que a celulose branqueável produzida com madeira brasileira é cerca de 8% inferior à polpa produzida com madeira do Sul dos Estados Unidos. A resistência Pulmac da fibra da celulose brasileira foi de 68,1 N/cm, enquanto a resistência da celulose dos EUA foi de 74,3 N/cm.

O resultado neto por ter menor densidade - celulose com maior conteúdo de madeira inicial - vem a ser que celuloses brasileiras possuem menos material para resistir a forças de tração e rasgo. Em comparação a celulose fabricada com madeira do Sul dos EUA, haverá produto com propriedades de resistência significativamente inferiores quando forem utilizadas como matéria-prima árvores de *Pinus taeda* do Sul do Brasil.

CONCLUSÕES

As árvores de pinus do Sul do Brasil demonstram menor variabilidade sazonal do que as árvores do Sul dos EUA. Em comparação ao Sul dos EUA, as condições climáticas médias mais estáveis do Sul do Brasil consentem menor variabilidade

The predominance of early wood fibers in bleachable grade pulp results in a significant decrease in amount of cell wall material available to resist tensile forces. Pulping studies conducted by Barefoot et al. have determined that latewood cell wall thickness exhibits the most important influence on several pulp strength properties [13]. As the bleachable grade pulp from Brazilian wood has a significantly decreased amount of cell wall material as compared to pulp obtained from Southern US wood due to the high percentage of thin walled earlywood fibers in the Brazilian pulp, significant decreases in beating time to a given freeness, and also in burst index, breaking length and tear factor are experienced in bleachable grade pulp made from Brazilian fiber. Table I lists the freeness development and physical properties data for an average of three bleachable grade pulp cooks of Brazilian and Southern US pinus. Intrinsic fiber strength as measured by Pulmac fiber strength testing shows that bleachable grade pulp made from the Brazilian wood is roughly 8% lower than pulp made from Southern United States wood. The Pulmac fiber strength for the Brazilian pulp was 68.1 N/cm, while the strength of the US pulp was determined to be 74.3 N/cm.

The net result of having a lower density - higher earlywood content pulp - is that the Brazilian pulps have less material to resist tensile and tear forces. As compared to pulp made from Southern US wood, pulp of significantly reduced strength properties is produced when Southern Brazilian Pinus taeda trees are employed as the raw material.

CONCLUSIONS

The pine trees in Southern Brazil exhibit less seasonal variability than the trees in the Southern US. The more stable average climatic conditions in Southern Brazil result in less cost variability within

de custo ao longo do ano. Em consequência da variabilidade significativamente menor e das condições semelhantes às primaveris durante todo o ano, o *Pinus taeda* brasileiro tende a possuir acima de três vezes mais lenho inicial do que as árvores do Sul dos EUA. O importante aumento da quantidade de fibras do lenho inicial concorre para grande rendimento em volume de madeira por hectare no Brasil em comparação às florestas plantadas do Sul dos EUA. As propriedades de resistência dessa madeira, tanto para produto estrutural (comercial) como para celulose tipo branqueável, resultam grandemente reduzidas no caso da madeira brasileira. A resistência à ruptura da madeira estrutural produzida com árvores brasileiras foi constatada como apenas 41% da resistência à ruptura da madeira estrutural produzida com árvores do Sul dos EUA. A resistência Pulmac da fibra da celulose classe branqueável brasileira foi 8% menor do que a resistência da celulose fabricada com madeira do Sul dos EUA. Resistência a rasgo e tração da celulose branqueável brasileira também foi significativamente menor do que a resistência da fibra análoga do Sul dos EUA.

Devido ao substancial aumento de fibras com parede fina do lenho inicial, a celulose brasileira evidenciou significativo melhoramento na resistência da ligação interfibras. Na celulose brasileira foi constatada ligação interfibras Pulmac mais que 15% superior àquela da celulose produzida com madeira do Sul dos EUA. Em decorrência dessa mais forte ligação entre fibras foi também constatado ligeiro aumento da resistência ao arrebentamento (Mullen) da fibra branqueável brasileira quando comparada com aquela do Sul dos EUA. ▲

the year as compared to the Southern US. As a result of having significantly less variation and more spring like conditions year round, the P. taeda in Brazil tends to have a more than three times more earlywood than the trees in the Southern US. The significant increase in the amount of earlywood fibers results in a large increase in volume of wood per hectare in Brazil as compared to plantation wood in the Southern US. The strength properties of this wood, both in structural lumber and in bleachable grade pulp, are significantly reduced for the Brazilian wood. The rupture strength of structural lumber produced from the Brazilian trees was determined to be only 41% of the rupture strength of structural lumber produced from Southern US wood. The Pulmac fiber strength of Brazilian bleachable grade pulp was 8% lower than the strength of pulp produced from Southern US trees. The tear and tensile strength of the bleachable grade Brazilian pulp was also significantly lower than the strength of comparable Southern US fiber.

Because the substantial increase in thin walled earlywood fibers, the Brazilian pulp had a significant improvement in bonding strength. The Pulmac fiber bonding was found to be increased by over 15% for Brazilian pulp as compared to pulp made from the Southern US wood. As a result of this improved fiber bonding, the Mullen (burst) strength of the Brazilian bleachable grade fiber was also found to be slightly increased as compared to the Southern US pulp. ▲

REFERÊNCIAS / REFERENCES

1. P.W. Hart, *Seasonal Variation in Wood: Perceived and Real Impacts on Pulp Yield*, TAPPI Journal, Vol. 8, March 2009, pp. 4-8.
2. Genco, J.M., Krishnagopalan, A., and Shaffer, M.M., *Effect of Bark on the Pulping of Commercial Mixed Hardwood Chips*, TAPPI Journal, Vol. 61, No. 5, May, 1978 pp. 107-108.
3. Banerjee, S., Jacobson, A., Lucia, L., *Improving Yield: Chipping, Green Liquor Pretreatment, and Diffusion*, Growing Yield from the Ground Up, TAPPI Symposium, 2006.
4. NOAA website Summerville, SC Weather Data Web site: <http://www1.ncdc.noaa.gov/pub>.
5. Fritts, H.C., *Tree rings and climate*, New York, Academic Press, 1976, pg. 567.
6. Schweingruber, F.H., *der Jahrring, Standort Methodik, Zeit und Klima in der dendrochronologie*, Berne: Paul Haupt, 1983, pg. 234.
7. Panshin, A.J., de Zeeuw, C., *Textbook of Wood Technology*, 4th Ed., McGraw-Hill, New York, 1980, pg. 79.
8. Braker, O., *Der Alterstrend bei Jahrringdichten und Jahrringbreiten von nadelholzern und sein Ausgleich*. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien 1981: vol. 142, pp. 75-102.
9. R. Wimmer, *Structural, chemical and mechanical trends within coniferous trees*. Spiecker H, Kahle, H.P., ed. *Modeling of tree-ring development – cell structure and environment*, Workshop proceedings, Freiburg, Sept. 5-9, 1994, Institut fur Waldwachstum, Univ. Freiburg, Germany, 1994, pp. 2-11.
10. Zobel, B.J., van Buijtenen, J.P., *Wood variation, Its causes and control*, Berlin, Heidelberg, Springer, 1989, pg. 363.
11. C. Krause, *Ganzbaumanalyse von Eiche, Buche, Jiefer und Fichte mit dendroökologischen methoden*, PhD Dissertation, Univ. of Hamburg, Germany, 1992, pg. 163.
12. Megraw, R.A., *Wood quality factors in Loblolly pine. The influence of tree age, position in tree, and cultural practice on wood specific gravity, fiber length, and fibril angle*, Tappi Press, Atlanta, 1985, pg. 1.
13. Barefoot, A.C., Hitchings, R.G., and Ellwood, E.L., *Wood Characteristics and Kraft Paper Properties of Four Selected Loblolly Pines III. Effect of Fiber Morphology in Pulps Examined as a Constant Permanganate Number*, Tappi, Vol. 49, No. 4, April 1966, pp. 137-147.