



14 a 17 de Outubro 2002 - São Paulo - Brasil
October 14-17, 2002

Comportamento da madeira de *Eucalyptus globulus*
com diferentes teores de lignina para produção de celulose kraft

Kraft pulping behavior of *Eucalyptus globulus*
woods containing different lignin contents

Claudia A. Broglio da Rosa¹
Gabriel V. Cardoso
Sonia M. B. Frizzo¹
(Universidade Federal de Santa Maria - UFSM)

Celso E. B. Foelkel
(Grau Celsius)

Teotônio F. de Assis
Patrícia de Oliveira
(Klabin Riocell S/A)

Comportamento da madeira de *Eucalyptus globulus* com diferentes teores de lignina para produção de celulose kraft

Autores:

Claudia A. Broglio da Rosa¹, Gabriel V. Cardoso¹, Celso E. B. Foelkel², Sonia M. B. Frizzo¹, Teotônio F. de Assis³, Patrícia de Oliveira³.

¹Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Santa Maria, RS, Brasil.

²Grau Celsius. Porto Alegre, RS, Brasil.

³Klabin Celulose. Unidade Guaíba, RS, Brasil.

O crescente avanço global tem gerado o aumento da competitividade e da busca constante pela perfeição no produto final, ou seja, o papel ideal destinado à finalidade desejada. A união da tecnologia moderna e da matéria-prima de qualidade tem possibilitado o crescimento do mercado papelero. Juntamente com a expansão das indústrias deste setor, todos os segmentos envolvidos na cadeia produtiva também têm crescido. Nunca se plantaram tantas florestas fornecedoras de madeira com tanta qualidade. Com a clonagem de matrizes superiores, devido ao cruzamento genético de indivíduos com características destacadas, é possível encontrar povoamentos de *Eucalyptus* perfeitamente manejados para altas qualidades silviculturais e de características da madeira. O estudo das propriedades da madeira do eucalipto tem-se refletido nas qualidades encontradas nas espécies mais importantes do gênero para o setor papelero. O *Eucalyptus globulus* há tempos é destaque em outros países, surgindo como a principal espécie para este fim em Portugal, Espanha, Chile, etc. No Brasil, a sua implantação na região sul, possibilitou o surgimento de mais uma fonte de madeira com qualidade e rendimento diferenciados. Algumas propriedades da madeira, como densidade básica, lignina, celulose, hemiceluloses e extrativos, constituem-se em características de maior impacto sobre o custo e sobre a produtividade para a indústria de polpa kraft de *Eucalyptus*. Os teores de lignina e extrativos são considerados como características químicas fundamentais, uma vez que influenciam diretamente o consumo de álcali, rendimento da deslignificação e o potencial de produção industrial. A escolha da espécie *Eucalyptus globulus* para realização deste estudo foi devido ao menor teor de lignina que esta espécie apresenta em comparação às espécies tradicionalmente usadas no Brasil, bem como as boas características que o papel resultante apresenta e também pela adaptação desta espécie às condições climáticas do Sul do Brasil. O presente trabalho teve por objetivo estudar a influência do teor de lignina Klason da madeira, em duas diferentes faixas de conteúdo, na produção de celulose kraft de madeiras de *Eucalyptus globulus* e seus efeitos no processo de cozimento da madeira e de refino das celuloses obtidas. Para o desenvolvimento deste estudo foram abatidas 50 árvores da espécie *Eucalyptus globulus* sub-espécie *globulus* Labil., com 8 anos de idade, selecionadas em um povoamento localizado no estado do Rio Grande do Sul. Foram retirados cinco discos para cada árvore e para cada posição na altura da árvore, a saber: base, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 100% da altura comercial. Um disco de cada posição foi usado na determinação da densidade básica, outro para análises químicas (extrativos, lignina e cinzas) e outros três discos, através de mistura proporcional, para os cozimentos e produção de celulose (rendimento, número kappa, S_{5%}, viscosidade intrínseca e refino). Nos resultados obtidos, em relação à análise dendrométrica das 50 árvores, o volume médio de madeira por árvore foi de 0,226 m³, com um coeficiente de variação de 36,94%. O peso seco médio de madeira por árvore foi de 0,119 t absolutamente seca, com árvores pesando de 0,057 a 0,237 t. Estes dois parâmetros dendrométricos evidenciaram a heterogeneidade entre as árvores estudadas, o que é também importante para posterior seleção de árvores superiores. Neste sentido, os resultados confirmaram a expressiva diferença existente entre as árvores selecionadas. A seleção final das árvores mais adequadas para servirem como matéria-prima para execução dos cozimentos foi baseada na composição química da madeira e na densidade básica de cada uma. A faixa de densidade básica encontrada para as seis árvores selecionadas foi restrita e estreita, com média de 0,533 g/cm³ e coeficiente de variação baixo de 2,75%. Com isso, todas as árvores selecionadas apresentaram densidades básicas semelhantes para se eliminar o efeito dessa importante variável sobre a expressão e comparação dos resultados. Com relação aos resultados das características químicas das madeiras, o teor de extrativos apresentou uma variabilidade significativa para as 50 árvores, com valores entre 0,91 e 3,31%. Neste trabalho, optou-se por determinar o teor de cinzas apenas das seis árvores escolhidas para sofrerem o processo de deslignificação kraft, sendo que o

teor médio para as três árvores com baixo nível de lignina foi de 0,43% e para as três árvores com alto nível de lignina foi de 0,37%. Em relação ao teor de holocelulose presente nas madeiras, a amplitude de 3,82% evidenciou a diferença no teor deste componente entre as madeiras com diferentes níveis de lignina. O teor médio de holocelulose para as madeiras com alto teor de lignina foi de 75,1% e para as madeiras com baixo teor de lignina foi de 77,9%. Apesar de pequena, a amplitude encontrada para o teor de lignina foi expressiva e igual a 4,45%. As madeiras foram estatisticamente diferentes quanto ao teor de lignina, o que permitiu selecionar, entre as 50 árvores estudadas, as três árvores com menor teor de lignina e as três com maior teor de lignina Klason em suas madeiras, as quais serviram de materiais para o processo de polpação. O teor médio geral de lignina para as 50 árvores foi de 21,85%. Para as três árvores de baixo teor, a média ficou em 20,53% e para as três árvores de alto teor, a média foi de 23,02%. Para obtenção das polpas, foram efetuados cozimentos preliminares para se definir as dosagens de álcali ativo, temperatura e tempo, ideais para atingir um mesmo grau de deslignificação (representado pelo número kappa $17,2 \pm 1,0$). Através da otimização, foi possível obter as condições ideais para proceder a deslignificação kraft. Com exceção da concentração de álcali ativo que variou (18 % para as madeiras com baixo teor de lignina e 19 % para as de alto teor de lignina, expresso como %NaOH), as demais condições foram iguais (sulfidez 20%, relação licor/madeira 4:1, temperatura máxima 168 °C, tempo de aquecimento 90 minutos e tempo à temperatura máxima 60 minutos). Foram realizados 12 cozimentos por tipo de madeira. As polpas resultantes dos cozimentos kraft das madeiras que apresentavam baixo teor de lignina tiveram os maiores rendimentos (média de 53,0%) e os menores consumos de álcali efetivo (média de 15,1%), o número kappa variou de 16,2 a 18,2, o teor de rejeitos de 0,09 a 0,25 %, a alvura de 37,79 a 44,28 %ISO, a viscosidade intrínseca de 1135 a 1305 cm³/g e o S5 de 12,9 a 14,6 %. As polpas produzidas a partir das madeiras com alto teor de lignina apresentaram os menores rendimentos (média de 50,7%) com um consumo de álcali efetivo relativamente maior (média de 15,7%), o número kappa variou de 16,2 a 18,0, o teor de rejeitos de 0,04 a 0,28 %, a alvura de 38,32 a 45,78 %ISO, a viscosidade de 1055 a 1195 cm³/g e o S5 variou de 13,5 a 14,6 %. As polpas foram refinadas em moinho laboratorial PFI, e o número de revoluções foi variável, com a finalidade de obter dois níveis de refino expressos como graus Schopper-Riegler, 25 e 30 °SR, respectivamente. Foram feitas 10 curvas de refino por tipo de polpa. De acordo com os resultados, o teor de lignina, e possivelmente a viscosidade das celuloses dos dois tipos, influenciaram significativamente no gasto de energia de refino. A energia no PFI necessária para refinar as polpas com baixo teor de lignina foi maior : média de 200 rotações a 25 °SR e média de 600 rotações a 30 °SR. Já para refinar as polpas com alto teor de lignina, a 25 °SR praticamente não houve gasto de energia e a 30 °SR o valor médio foi de 100 rotações. Para os testes físico-mecânicos aplicados nas folhas confeccionadas com as polpas marrons refinadas, pôde-se observar que as polpas resultantes da deslignificação kraft das madeiras com baixo teor de lignina apresentaram os melhores resultados para resistência à tração, resistência ao estouro e resistência ao rasgo. A absorção de água e a porosidade dessas celuloses foram também maiores. Para as resistências à tração, ao estouro e ao rasgo e para a absorção de água, os diferentes teores de lignina exerceram maior influência a 30 °SR. As diferenças aumentaram na medida que aumentava o grau de refino. Conclusivamente, o menor teor de lignina da madeira em árvores selecionadas de *E.globulus* afeta não somente a facilidade de cozimento e o rendimento de conversão da madeira à celulose, mas também as qualidades físico-mecânicas das polpas obtidas pela maior capacidade de ligação das fibras e pela maior viscosidade encontrada para mesmos números kappa. Quando se comparam os resultados obtidos no processo de deslignificação kraft das madeiras com distintos teores de lignina, e o comportamento das polpas resultantes quando refinadas, os resultados são muito melhores quando se trabalha com as árvores com madeiras de menor teor de lignina, confirmando que a composição química da madeira é uma característica que exerce grande impacto sobre o custo, a produtividade e a qualidade do produto final na indústria. Portanto, o teor de lignina de uma madeira deve ser considerado como um parâmetro fundamental no processo de escolha da matéria-prima a nível industrial, pois exerce influência direta e importante sobre o consumo de álcali, rendimento da deslignificação, potencial de produtividade industrial no digestor e, principalmente, o nível de qualidade do produto final.

Palavras-chave: *Eucalyptus globulus*, lignina, madeira, celulose kraft, rendimento, refino

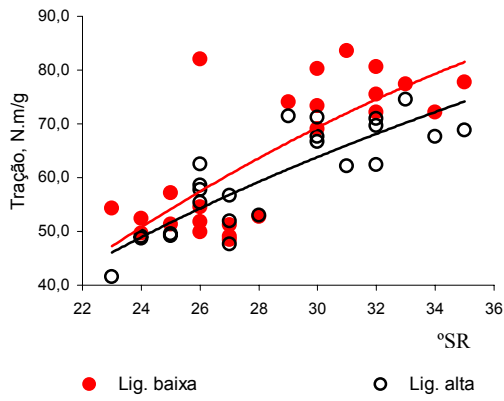


Figura 1. Relação tração e °SR

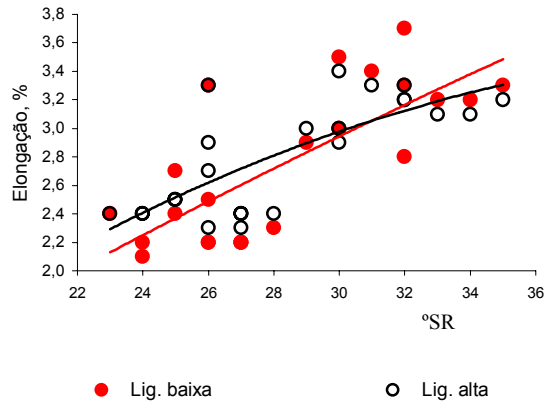


Figura 2. Relação alongamento e °SR.

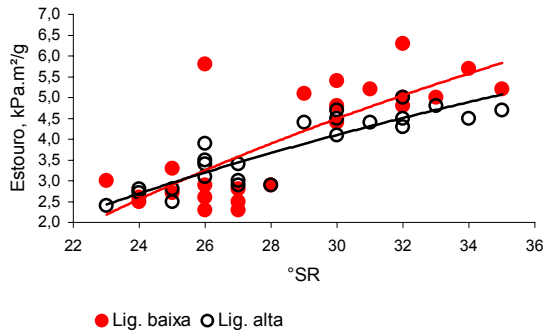


Figura 3. Relação estouro e °SR.

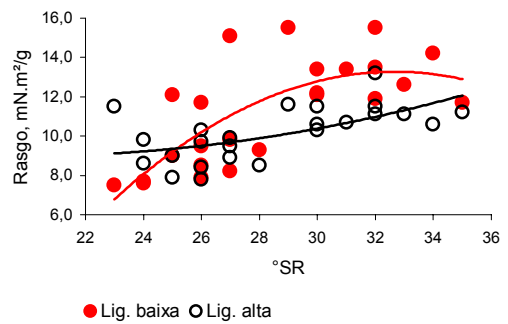


Figura 4. Relação rasgo e °SR.

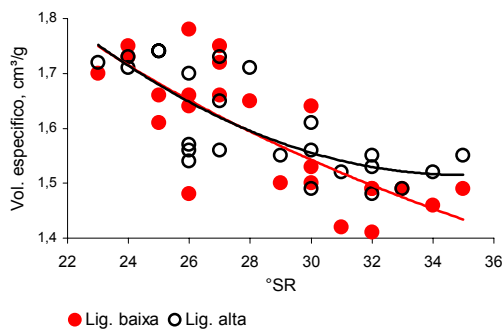


Figura 5. Relação volume específico e °SR.

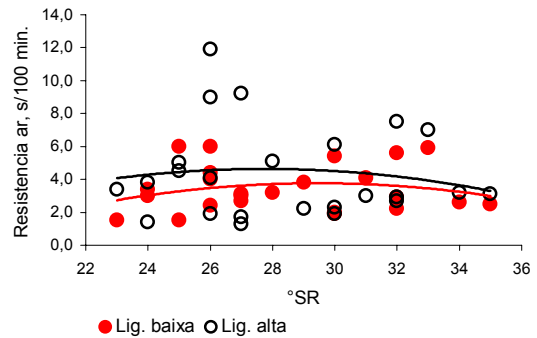


Figura 6. Relação resistência ao ar e °SR.

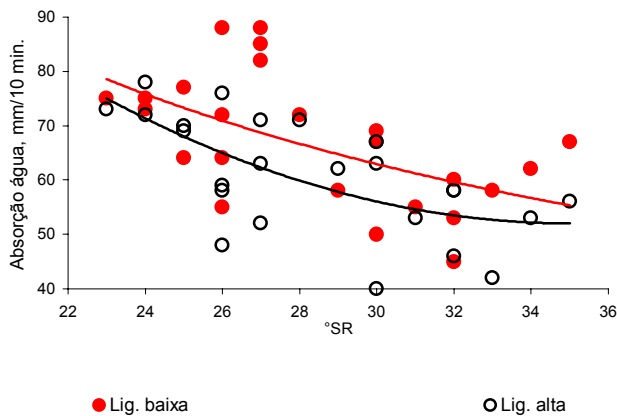


Figura 7. Relação absorção de água Klemm e °SR.

Kraft pulping behavior of *Eucalyptus globulus* woods containing different lignin contents

Authors:

Claudia A. Broglio da Rosa¹, Gabriel V. Cardoso¹, Celso E. B. Foelkel², Sonia M. B. Frizzo¹, Teotonio F. de Assis³, Patricia de Oliveira³.

¹Federal University of Santa Maria - UFSM. Santa Maria, RS, Brazil.

²Celsius Degree. Porto Alegre, RS, Brazil.

³Klabin Celulose. Guaiba mill, RS, Brazil.

Globalization has generated increased competitiveness and the search for improved quality in processes and products. Today, the goal is to manufacture the ideal paper quality to the required end-use. The combination of state-of-the-art technologies and the raw materials quality has enabled the worldwide growth of the paper use by the society. At the same time, the paper segment is growing, the related sectors in this production chain are also growing and receiving the benefits of these improvements. Never so many forests have been planted to provide so high quality wood. Cloning of superior trees, obtained by selected crossing, are leading to high quality *Eucalyptus* forest stands with high yields and superior wood quality. The study of wood quality/paper quality relationship has been of fundamental importance to the *Eucalyptus* paper manufacturing. *Eucalyptus globulus* has been an outstanding species in several countries for paper and pulp manufacturing: Portugal, Spain, Chile, etc. In Brazil, the introduction of this species in commercial basis is bringing additional opportunities as a source of differentiated wood. Several of the *E.globulus* wood quality features have positive impacts on costs and productivity: wood density, lignin content, hemicellulose content, holocellulose content. Lignin and extractives are of vital importance, due to their impact on pulp yield, alkali consumption and digester productivity. This study has selected *Eucalyptus globulus* as source of wood due to the lower wood lignin content the species has in comparison to other commercial species of the *Eucalyptus* genus. It is also recognized that the *E.globulus* fibers lead to the manufacture of papers with improved bonding strengths. The species has also good potential to be economically planted in South of Brazil, and to be included in forest breeding programs, such as hybridization and cloning. The work had as main objective to evaluate the influence of wood Klason lignin content in the production of kraft pulps, both in the wood cooking and in the unbleached pulp refining for strengths development. The study had as first step the selection of 50 trees from a 8 year-old forest plantation of *E.globulus* var. *globulus* located in Rio Grande do Sul state. These trees were harvested and from them several wood disks were taken according to a standard procedure. Five disks were taken from each tree and from each of the sampled tree heights: basis, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% and 100% of commercial height. This means a total of 55 disks from each tree. One disk in each height was used for wood basic density determination, another for wood chemical analysis, and the three remaining to be blended proportionally for chipping and pulping. The pulps were evaluated for pulp yield, kappa number, S5, intrinsic viscosity and PFI refining. In the individual tree evaluation, the average wood volume showed an average of 0.226 m³ per tree, with a coefficient of variation equal to 36.94%. The individual tree wood weight was 0.119 od ton, ranging from 0.057 to 0.237 od tons. These two parameters shows the not so uniform sizes and weights of the selected trees. This is good for further studies of tree selection for breeding. The selection of 6 trees to be used in the kraft pulping tests was based on lignin content and wood basic density. The wood density of these selected trees had an average of 0.533 g/cm³, with a low coefficient of variation (2.75%). The 6 selected trees for the pulping studies had similar wood basic density to avoid the influence of this property in the results. With this in mind, three trees were selected as showing low lignin content, and another three, as high lignin content. The overall wood extractive content (for the 50 trees) varied from 0.91% to 3.31%. For the 50 trees, the average lignin content was 21.85%. The ash content was determined only in the woods from the 6 selected trees for pulping. The low wood lignin content trees showed the following characteristics: 20.53 % for lignin content; 77.9% for holocellulose content; and 0.43% for ash content. The high wood lignin content trees had: 23.02% for lignin content; 75.1% for holocellulose content; and 0.37% for ash content. For the kraft pulping studies, the initial step it was the optimization for cooking the woods to the same kappa number range (17.2 ± 1.0). For this reason, some preliminary cooking were performed. The cooking conditions for both type of woods were proved to be very similar, with the only change being in the active alkali charge (18% to the low lignin content wood ,

and 19% to the high lignin content wood). The remaining kraft pulping conditions were kept the same: 20% for sulfidity; 4:1 liquor to wood ratio; 168°C for maximum temperature; 90 minutes to reach the maximum temperature; and 60 minutes at 168°C. In the pulping studies, 12 replications for each type of wood were adopted. Two treatments were tested: low and high lignin content woods. The wood containing low lignin content had significantly higher total pulp yields (average of 53.0%); lower consumption of effective alkali (15.1%); kappa number ranging from 16.2 to 18.2; reject content ranging from 0.09% to 0.25%; brightness from 37.79 to 44.28% ISO; intrinsic viscosity from 1135 to 1305 cm³/g; and S5 from 12.9 to 14.6%. The pulps obtained from the high lignin content woods had: lower total pulp yields (average 50.7%) ; higher consumption of effective alkali (15.7%) ; kappa number varying from 16.2 to 18.0; rejects content from 0.04 to 0.28%; brightness from 38.32 to 45.78% ISO; intrinsic viscosity from 1055 to 1195 cm³/g ; and S5 from 13.5 to 14.6%. The pulps were refined in the PFI laboratory beater, adjusting the number of revolutions to obtain 25°SR and 30°SR. For each type of treatment, ten replications were adopted in the statistical analysis. The original wood lignin content has influenced the pulp behavior along the refining. The pulps obtained from the low lignin content wood had a higher consumption of energy to reach the two levels of the pre-settled Schopper Riegler. They demand 200 revolutions to reach 25°SR and 600 revolutions to reach 30°SR. The pulps originated from the wood containing higher lignin content were easily beaten, probably due to the lower intrinsic viscosity (zero revolutions to 25°SR and 100 revolutions to 30°SR).The unbleached pulps were tested according to standard handsheet testing procedures. The pulps obtained from low lignin wood were proved to be superior in terms of bonding ability, what brought as consequence, better tensile, burst and tear strengths. It was noticed that the differences in both types of pulps was more pronounced at 30°SR than at 25°SR. The effect on bulk was not so important, but water absorption and porosity were better in the pulps manufactured with the low lignin content wood. As a conclusion, the decrease in the lignin content in the *Eucalyptus globulus* wood has effects not only in the kraft pulping performance, but also in the PFI mill refining and handsheet testing. The main conclusion is that the low lignin content woods are far better for all the important pulping characteristics as pulp yield, strengths, water absorption and porosity. As consequence, this wood characteristic has a great impact on the *Eucalyptus globulus* wood selection to the industry. The lower lignin imparts improvements on pulp yield, alkali consumption, digester productivity, paper strengths, paper water absorption and porosity.

Palavras-chave: *Eucalyptus globulus*, lignina, madeira, celulose kraft, rendimento, refino, resistências
Keywords: *Eucalyptus globulus*, lignin, wood, kraft pulp, yield, refining, strengths

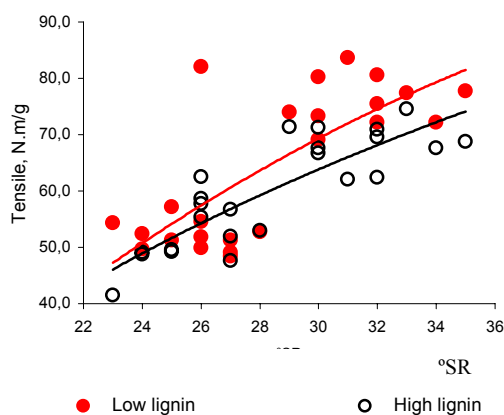


Figure 1. Tensile and °SR relationship.

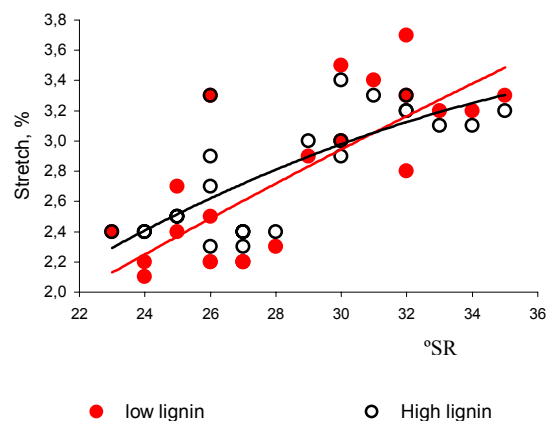


Figure 2. Stretch and °SR relationship.

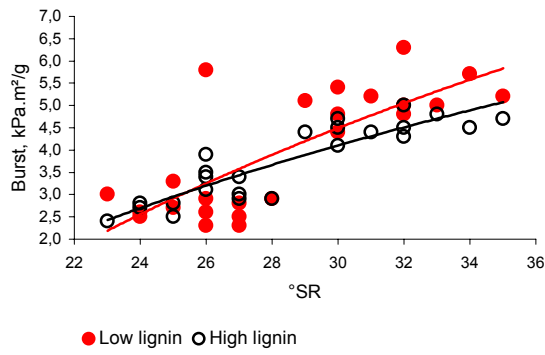


Figure 3. Burst and °SR relationship.

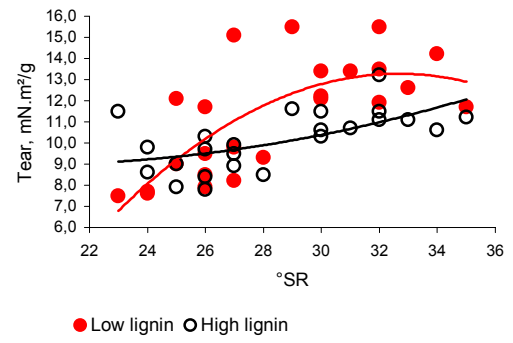


Figure 4. Tear and °SR relationship.

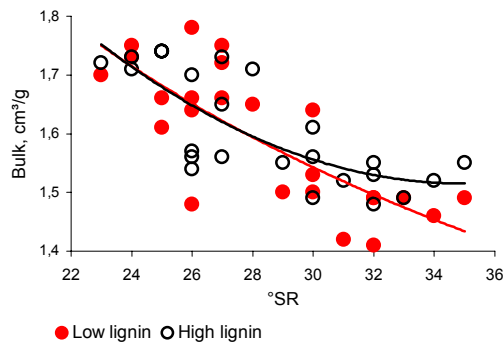


Figure 5. Bulk and °SR relationship.

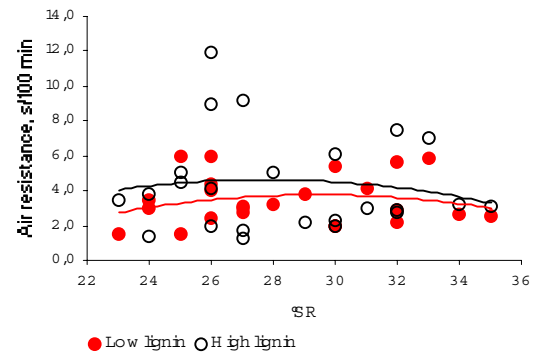


Figure 6. Air resistance and °SR relationship.

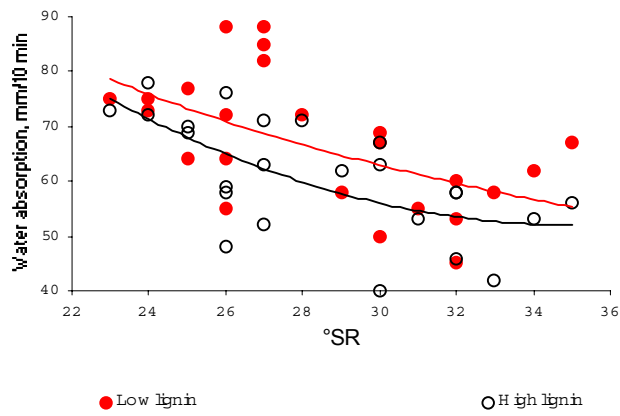


Figure 7. Klemm water absorption and °SR relationship.