

OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO COZIMENTO KRAFT DE *Eucalyptus globulus* EM FUNÇÃO DO TEOR DE LIGNINA DA MADEIRA

Gabriel Valim Cardoso

Sonia Maria Bitencourt Frizzo

Claudia Adriana Broglio da Rosa

Universidade Federal de Santa Maria, Cep: 97105-900, Santa Maria/RS, Brasil

Celso Edmundo Bochetti Foelkel

Grau Celsius/Celsius Degree, CEP: 91330-520, Porto Alegre/RS, Brasil

Teotônio Francisco de Assis

Patrícia de Oliveira

Klabin Riocell, CEP: 92500-000, Guaíba/RS, Brasil

Resumo

Neste estudo, foi realizada a otimização do cozimento kraft de madeiras de *Eucalyptus globulus* com dois níveis diferentes de teor de lignina. Foram realizados 72 cozimentos com cavacos de seis árvores de *Eucalyptus globulus* Labill. subespécie globulus com oito anos de idade. As árvores foram selecionadas com base em uma amostragem de 50 indivíduos da espécie. Os cavacos das três árvores de menor teor de lignina, com média de 20,53%, foram misturados entre si proporcionalmente ao peso das árvores, formando o nível com teor de lignina baixo; sendo que os cavacos das três árvores de maior teor de lignina, com média de 23,02%, também misturados proporcionalmente entre si, formaram o nível de teor de lignina alto, tendo os dois níveis diferidos estatisticamente entre si e as densidades básicas das madeiras não diferiram. Avaliaram-se três condições de temperatura máxima de cozimento (160, 165 e 170°C) e três condições de álcali ativo (17, 18,5 e 20%) para os dois níveis de lignina. Através de análise de regressão, estabeleceram-se relações entre as características das polpas e as condições de cozimento que melhor representassem os pontos ótimos para estas. A otimização realizada através dos modelos de regressão selecionados indicou temperaturas máximas de aproximadamente 167 e 168°C e álcalis ativos de 17,5 a 19%, para se obter máximos rendimentos depurados com números kappa de 16 a 19 para as madeiras de baixo teor de lignina. Para as madeiras de alto teor de lignina, as condições otimizadas foram temperatura máxima de cozimento de 169°C e álcalis ativos de 18,5 a 19,6%, para obter valores de número kappa na faixa de 17 a 19. Uma redução média de 2,49% no teor de lignina, na madeira de *Eucalyptus globulus*, promoveu um ganho médio de 2,2% no rendimento depurado, base madeira, e uma redução média de 1,2% de álcali ativo aplicado, base madeira, obtendo-se valores de número kappa de 16 a 19 e mantendo-se as demais propriedades da celulose com bons níveis de qualidade. Se, adicionalmente, optar-se por trabalhar com números kappa 19 em vez de 16, o ganho em rendimento depurado é de cerca de 2%. Isso significa que com madeira de baixo teor de lignina e número kappa 19 consegue-se cerca de 4,2% a mais de rendimento depurado e 2 a 2,5% a menos de carga aplicada de álcali ativo, em relação a madeira com alto teor de lignina deslignificada a número kappa 16.

Palavras-chave: Otimização do cozimento kraft, *Eucalyptus globulus* e teor de lignina

Abstract

KRAFT PULPING OPTIMIZATION OF *Eucalyptus globulus* WOODS WITH DIFFERENT LIGNIN CONTENTS

In this research, it was optimized the kraft pulping for pulp production using *Eucalyptus globulus* woods with two different lignin contents. Seventy-two laboratory cooking were made with wood chips obtained from six *Eucalyptus globulus* trees selected from a group of 50 trees. The wood chips from three trees with the lowest lignin content, with average 20,53%, were mixed proportionally based on the tree weights, obtaining the sample of low lignin content wood. The same was made to obtain the sample for wood chips with the highest lignin content, with average 23,02%. The two lignin levels were proved to differ statistically and two samples of woods had basic densities not different. Using distinct temperatures with three levels (160, 165 and 170°C), and active alkali (17, 18,5 and 20%), the wood chips were converted to kraft pulps. The pulps were then characterized to analyze the influence of the distinct combinations of factors employed in the cooking on the pulp properties. The effect of the cooking conditions was expressed by mathematical models aiming at obtaining the optimum points for each of the evaluated properties. The optimization process indicated maximum temperatures in the range of 167 to 168°C, and active alkali from 17,5 to 19%, for maximum kraft pulping yields to achieve kappa numbers from 16 to 19, these levels for woods with low lignin content. For woods containing the high lignin content, the optimization showed cooking temperature of 169°C and active alkali from 18,5 to 19,6% for kappa numbers in the range 17 to 19. The average reduction of 2,49% in wood lignin content for the *Eucalyptus globulus* wood promoted a gain correspondent to 2,2% in the kraft yield (o.d. basis) and a reduction on the active alkali charge of 1,2% (o.d. basis) to achieve kappa numbers from 16 to 19, preserving pulp properties in good levels of quality. If the option is to work with kappa number 19 instead of 16, the gain in kraft yield is approximately 2%. Therefore, with low lignin content wood and kappa number 19 instead of 16, a substantial gain of approximately 4,2% is obtained for kraft pulp yield, and additionally 2 to 2,5% reduction in the active alkali charge based on o.d. wood.

Key words: kraft pulping optimization, *Eucalyptus globulus* and lignin contents

INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* tem-se constituído na principal fonte de celulose de fibra curta no Brasil (69% da área total plantada), Bracelpa (2001), sendo bastante pesquisado e aperfeiçoado mediante programas de melhoramento florestal.

Pelo fato de apresentar menores teores de lignina na madeira, o *Eucalyptus globulus* tem sido encarado como uma atrativa oportunidade para o setor produtor de celulose do Sul do Brasil. Essa espécie, de introdução recente em plantios comerciais no País, pode se transformar em uma excelente alternativa para o setor brasileiro produtor de celulose e papel, tanto na forma de espécie pura, como de híbrida com outras espécies para propagação vegetativa (clonagem).

Nos processos químicos de produção de celulose, nos quais ocorre uma inter-relação entre as variáveis de deslignificação, as variáveis temperatura máxima de cozimento e álcali ativo são de grande importância industrial, pois afetam diretamente a taxa de remoção de lignina e a qualidade do produto final, além de serem facilmente controláveis nas operações industriais. Apesar de se reconhecer a importância da variável tempo de cozimento, ela não foi incluída na presente avaliação por apresentar baixa flexibilidade nas operações industriais.

É importante conhecer o que estas interações entre variáveis causam frente a diferentes teores de lignina dentro de uma mesma espécie de eucalipto. Assim, é possível otimizar-se a capacidade de produção desta matéria-prima específica, já que entre as principais preocupações dos fabricantes de pastas celulósicas estão a redução de custos visando à competitividade, o aumento de qualidade e de produção, conseqüências das exigências naturais do mercado mundial, e a diminuição do consumo energético e da carga poluente, resultado dos problemas ambientais mundiais.

No presente estudo elegeram-se como objetivo principal realizar a otimização das condições de cozimento kraft de *Eucalyptus globulus* em função do teor de lignina da madeira.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O *Eucalyptus globulus* Labill. possui uma distribuição natural bastante restrita, pois encontra-se limitado a pequenas manchas da zona litorânea do Sudeste e Sul da Tasmânia, nas Ilhas Flinders e King entre a Tasmânia e a Austrália, e no Estado de Victória, junto ao Cabo Otway e Promotório Wilsons, em altitudes compreendidas entre o nível do mar e 400 metros. A latitude varia para esta espécie de 38 a 43° Sul. O clima é temperado frio, uniforme de úmido a subúmido. As temperaturas médias anuais máximas estão em torno de 21°C e as mínimas 4°C. A precipitação média anual varia entre 500 e 1.500 milímetros (Poynton, 1979).

O *Eucalyptus globulus* foi a primeira espécie de eucalipto que se espalhou pelo mundo devido ao seu rápido crescimento. Tem sido implantado principalmente em Portugal, Espanha, Uruguai, Chile, Peru, Equador, Bolívia, Brasil (principalmente no Estado do Rio Grande do Sul), Argentina, Estados Unidos e Etiópia, sendo que nos anos 90 a área total plantada no mundo era da ordem de 1.100.000 ha (um milhão e cem mil hectares) (Goes, 1991).

Assis & Ferreira (1996) relataram que o *Eucalyptus globulus* apresenta vantagens industriais em relação a outras espécies, tais como: o baixo consumo específico (3 m³ de madeira/tonelada de celulose), o baixo teor de lignina (22%) e o alto rendimento (aproximadamente 53%). Como desvantagem, apresenta maior acúmulo de íons na madeira do que as espécies tradicionais (Freddo *et al.*, 1999).

Barrichelo & Brito (1977), estudando madeiras de *Eucalyptus grandis*, com seis anos de idade, encontraram correlação positiva entre o teor de lignina e a densidade básica e correlação negativa desta com o teor de holocelulose. Segundo os autores, tal fato significa que madeiras mais densas, dentro de uma mesma espécie, possuem um maior teor de lignina e menor teor de holocelulose. Já Valente *et al.* (1992), citaram que a massa volumétrica tem tendência a se correlacionar negativamente com a percentagem de lignina.

Almeida & Silva (1997) concluíram que a densidade básica, apesar de ser um importante parâmetro de qualidade, é insuficiente para indicar o possível comportamento da madeira ante o processo de polpação, mesmo estando associada à composição química.

Segundo Mezzomo *et al.* (1997), a quantidade de lignina pode afetar negativamente a deslignificação no cozimento kraft, ocorrendo variações no número kappa, no rendimento e alvura da celulose marrom. Madeiras com quantidades maiores de lignina podem produzir maior número kappa e menor alvura ou exigirem maiores quantidades de álcali.

Todos os trabalhos revisados que tratam da relação entre componentes químicos e rendimento, acordam com um estudo realizado pela *TAPPI Forest Biology Subcommittee* n. 2, no que diz respeito à influência da lignina, sobre o rendimento. Quanto maior o teor de lignina, maior a carga de álcali necessária para efetuar a deslignificação. Um aumento na carga de álcali provocaria maior degradação e dissolução dos polissacarídeos da madeira, provocando redução no rendimento. O próprio autor encontrou correlação positiva do teor de lignina na madeira em relação ao número kappa na polpa e correlação negativa do teor de lignina com o rendimento da deslignificação, discutindo também que a dependência negativa entre número kappa e holocelulose poderia ser entendida como resultado direto da correlação negativa entre holocelulose e lignina e que, desta forma, quanto maior o teor de holocelulose, menor o teor de lignina na madeira e, conseqüentemente, menor quantidade de lignina existente para ser removida no processo de deslignificação, favorecendo a obtenção de um menor número kappa (Santos, 2000).

Dias & Correa (1980) citaram que a temperatura recomendada no processo kraft é de 165 a 170°C e, como é bem conhecida, a degradação é acelerada acima de 170°C. Os autores encontraram que, em média, o rendimento depurado para madeira de *Eucalyptus grandis* diminui 2,6% quando se aumenta a carga de álcali ativo de 17 para 21%, sem serem consideradas outras mudanças associadas com as outras variáveis, e que o número kappa é significativamente reduzido, com o aumento da temperatura máxima e com o aumento da sulfidez.

Gomide & Colodette (1983), otimizando os parâmetros de polpação para *Eucalyptus grandis* encontraram que o rendimento depurado foi influenciado principalmente pelo álcali ativo e pela temperatura, menos afetado pelo tempo e não-influenciado pela variação de sulfidez. Os autores estabeleceram equações matemáticas para descrever as influências dos parâmetros investigados nas características da polpa celulósica. Para estimar o número kappa, a equação selecionada tinha como parâmetros a temperatura máxima de cozimento e o tempo de cozimento à temperatura máxima, enquanto que para estimar o rendimento total e o rendimento depurado os parâmetros independentes da equação selecionada foram a temperatura máxima, o álcali ativo e o tempo à temperatura máxima.

O cozimento kraft de produção de celulose apresenta seletividade relativamente baixa nas reações de remoção da lignina. Durante o cozimento, removem-se extrativos, parte dos carboidratos

e lignina. No final do cozimento, a remoção dos carboidratos continua importante e a remoção de lignina diminui (Foelkel, 1977).

Segundo Almeida & Silva (1997), a produção de polpa kraft sofre forte interferência da matéria-prima através da carga alcalina utilizada, apresentando expressivo efeito no rendimento gravimétrico depurado. Carvalho (1999) também citou que a carga alcalina a ser aplicada no cozimento é determinada pela concentração dos reagentes utilizados e o valor desta é dependente do tipo de madeira e das condições que irão ser combinadas (temperatura, tempo e sulfidez) para atingir o grau de deslignificação desejado.

A utilização de cargas alcalinas mais elevadas faz aumentar a velocidade de deslignificação (para uma dada temperatura de reação), obtendo-se, assim, menores valores de número kappa para um mesmo tempo de reação, porém o aumento da velocidade de deslignificação é, em geral, acompanhado de um decréscimo no rendimento e nas propriedades de resistência da pasta, devido à degradação da celulose e, principalmente, das hemiceluloses (Carvalho, 1999). Por razões econômicas e de qualidade, deve-se empregar uma carga mínima de álcali para a obtenção de um certo número kappa. Entretanto, cargas muito baixas podem resultar em uma queda do pH do licor durante o cozimento, situação em que ocorre a reprecipitação de lignina nas fibras, o que pode provocar um aumento do número kappa (Bugajer *et al.*, 1980).

As reações de deslignificação têm início a temperaturas na ordem de 140°C, mas praticamente as temperaturas utilizadas estão entre 160 a 170°C. Temperaturas superiores a 175°C tornam a celulose mais susceptível à degradação. Em geral, o emprego de uma maior carga de álcali resulta em uma diminuição do rendimento. Este fato é mais pronunciado com folhosas, onde ocorre uma maior dissolução de xilanas (Bugajer *et al.*, 1980 e Busnardo, 1981).

Gomide & Colodette (1983), otimizando os parâmetros de polpação para *Eucalyptus grandis*, concluíram que a variável que apresentou maior efeito na taxa de deslignificação foi a temperatura máxima de cozimento. Segundo os autores, como a temperatura é mais difícil de ser modificada em polpação industrial, atenção especial deve ser dada ao controle preciso do álcali ativo e, conseqüentemente, da umidade dos cavacos, que afeta diretamente a concentração do álcali.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras utilizadas para a realização deste trabalho constituíram-se de cavacos picados manualmente, obtidos a partir de discos de madeira de árvores da espécie *Eucalyptus globulus* Labill. subespécie globulus, com oito anos de idade, provenientes de povoamentos florestais da indústria Klabin Riocell, localizados no município de Barra do Ribeiro, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Para a seleção das amostras as condições pré-estabelecidas foram árvores com mesma densidade básica e com teores diferentes de lignina. Com isso, evitou-se os efeitos da densidade básica sobre as propriedades da celulose, o que mascararia a interpretação do efeito do teor de lignina.

Foram selecionadas seis árvores, sendo que esta escolha foi baseada na dispersão do teor de lignina das árvores, previamente realizada na empresa Klabin Riocell, relativa a um total de 50 indivíduos de *Eucalyptus globulus*. A análise destas árvores possibilitou a divisão das madeiras em dois níveis:

- Nível 1 – Baixo teor de lignina na madeira, composto por três árvores selecionadas por apresentarem menores resultados desses teores na população de árvores analisadas;
- Nível 2 – Alto teor de lignina na madeira, composto por três árvores selecionadas por apresentarem maiores resultados desses teores na população de árvores analisadas.

Foram retirados discos a cada 10% da altura comercial, (40 cm acima da base, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100%, sendo o diâmetro limite para este último de 6 centímetros com casca). Cada árvore teve três discos, por posição, picados manualmente na forma de cavacos com espessura de aproximadamente 3 milímetros, descartando-se a casca. Ainda separados por posições, os cavacos foram pesados e fez-se a composição de cada nível misturando-se, proporcionalmente ao peso de cada árvore e de cada posição, a quantidade de cavacos suficiente para a realização dos cozimentos. Os cavacos foram homogeneizados para representar todas as posições da árvore e misturados com as outras duas árvores representativas do mesmo teor de lignina, sendo também homogeneizados para representar as três árvores, fazendo-se este processo para os dois níveis de lignina. A amostra de cada nível de teor de lignina foi composta por 10 quilos de cavacos secos ao ar, que foram misturados, exaustivamente, para representar as árvores e as posições destas da forma mais homogênea possível. Cada cozimento foi representado por 190 gramas secas de cavacos alimentados nas células do digestor.

Os cozimentos foram realizados segundo Klabin Riocell (1997), em digestor rotativo, aquecido eletricamente e constituído de tampa com quatro células cilíndricas, com capacidade de aproximadamente 1,3 litro cada uma, viabilizando a realização de quatro cozimentos simultâneos, onde foram testados os teores de lignina da madeira, álcalis ativos e temperaturas máximas a seguir:

Teores de lignina	Álcalis ativos	Temperaturas máximas
Nível 1 = baixo	Nível 1 = 17%	Nível 1 = 160°C
Nível 2 = alto	Nível 2 = 18,5%	Nível 2 = 165°C
	Nível 3 = 20%	Nível 3 = 170°C

O álcali ativo utilizado foi expresso como % NaOH, base madeira seca em estufa. As condições homogêneas para todos os cozimentos foram as seguintes:

- Sulfidez = 20%;
- Relação licor madeira = 4:1 litro/quilo;
- Tempo até a temperatura máxima = 90 minutos;
- Tempo à temperatura máxima = 60 minutos;
- Peso seco de cavacos = 190 gramas.

O experimento teve 18 tratamentos com quatro repetições por tratamento, totalizando 72 cozimentos. Os tratamentos foram casualizados dentro das três temperaturas máximas separadamente.

Os efeitos de cada um dos fatores analisados sobre os resultados obtidos foram testados por meio de análise de regressão e ajustamento de equações aos dados observados.

Foram avaliadas, por estudos estatísticos para cada nível de teor de lignina, quais condições de cozimento (álcalis ativos e temperaturas), eram necessárias para se alcançar valores de número kappa em faixa estreita e compatível com as exigências industriais (16 a 19). Através de gráficos, determinaram-se os pontos ótimos para os valores objetivados de número kappa.

Os resultados obtidos nos cozimentos foram usados para a geração de equações que explicassem o comportamento das variáveis estudadas e permitissem estimar valores de número kappa e otimizar as características das polpas para cada nível desejado deste.

As equações foram geradas utilizando-se o programa estatístico Statgraphics, sendo que o melhor modelo para cada variável foi escolhido por meio das estatísticas de coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), erro padrão da estimativa (S_{yx}), F calculado para o modelo ($F_{calc.}$) e análise gráfica dos resíduos (Statgraphics, 1986).

Primeiro ajustaram-se equações, uma para cada nível de lignina, separadamente, considerando-se álcali ativo como variável dependente em função de duas variáveis independentes: os resultados das análises de número kappa obtidos nos cozimentos experimentais e as temperaturas máximas testadas (160, 165 e 170°C). Com estas mesmas equações estimaram-se valores de álcali ativo, para uma faixa de valores de número kappa de 16 a 19 com intervalo de 0,1 e temperaturas máximas de cozimento de 165 a 171°C para o nível de teor de lignina baixo e de 167 a 171°C para o nível de teor de lignina alto, com intervalo de 1°C entre as temperaturas.

Em seguida, geraram-se equações para álcali efetivo consumido base madeira, álcali efetivo residual base madeira, pH do licor preto, rendimento depurado, teor de rejeitos, viscosidade intrínseca, solubilidade em NaOH_{5%} e alvura, em função das variáveis independentes, álcali ativo e temperaturas máximas testadas nos cozimentos experimentais, para cada um dos níveis de lignina.

Com as equações geradas, estimaram-se os resultados para estas análises, sendo que os valores utilizados, para a variável independente álcali ativo, foram os estimados anteriormente em função das faixas desejadas de número kappa, utilizando-se, para a segunda variável independente, temperatura máxima, a mesma faixa de valores de 165 a 171°C para lignina baixa e 167 a 171°C para lignina alta, com o mesmo intervalo de 1°C entre cada temperatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para confirmar a existência de diferença estatística entre o nível 1 = teor de lignina baixo (20,53%) e o nível 2 = teor de lignina alto (23,02%), compararam-se as médias, obtidas de seis repetições para cada árvore, utilizando-se o teste “t de Student”. Uma condição para realizar o teste é examinar a homogeneidade de variâncias, utilizando o teste de F. O resultando foi um F calculado = 1,212, menor que o F tabelado a 5% $(17;17) = 2,272$, ou seja, as variâncias são homogêneas, permitindo que o teste seja executado.

Confirmando-se a condição, realizou-se o teste:

t calculado = |-13,78|;

t tabelado $\alpha/2$ (5%; 34) = 2,032

Como “t calculado” em módulo foi maior que “t tabelado”, rejeitou-se a hipótese de nulidade, ou seja, concluiu-se que existe diferença significativa entre as duas médias de lignina a um nível de 5% de erro.

Análises das polpas marrons e do licor preto

Os resultados das análises das polpas marrons e do licor preto, para o nível de teor de lignina baixo e para o nível de teor de lignina alto, são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. Os resultados das polpas das madeiras com baixo teor de lignina apresentam valores de número kappa menores para as mesmas condições, comparadas com as polpas das madeiras com alto teor de lignina. Já os rendimentos depurados são bem superiores, indicando que, para diferentes condições de cozimentos das madeiras de *Eucalyptus globulus* o teor de lignina influencia nas características finais da polpa e nos resultados dos cozimentos, devendo ser uma variável muito representativa no momento da escolha da matéria-prima industrial. Normalmente, o pH do licor preto kraft está na faixa de 12 a 13, pois uma quantidade de álcali deve permanecer como resíduo, para evitar a reprecipitação de lignina sobre as fibras, tornando-as mais hidrofóbicas. Verifica-se que para a temperatura máxima de 170°C e álcali ativo de 17%, para ambos os níveis de lignina, o pH foi o mais baixo, indicando pela quantidade de álcali ativo residual uma necessidade maior de carga de álcali ativo aplicada aos cozimentos a esta temperatura.

TABELA 1: Média das quatro repetições das análises das polpas marrons e do licor preto, obtidas dos cavacos com nível de teor de lignina baixo

Temperatura máxima	160°C			165°C			170°C		
	17	18,5	20	17	18,5	20	17	18,5	20
Álcali ativo inicial (%)									
pH	12,45	12,83	12,95	12,32	12,48	12,68	12,00	12,45	12,46
Álcali efetivo inicial (%)	15,30	16,65	18,00	15,30	16,65	18,00	15,30	16,65	18,00
Álcali efetivo consumido (%)	14,03	14,57	15,01	14,52	15,08	15,68	15,02	15,68	16,76
Álcali efetivo residual (%)	1,27	2,08	2,99	0,78	1,57	2,32	0,28	0,97	1,24
Rendimento bruto (%)	56,8	55,6	53,4	55,8	53,2	51,6	53,4	52,0	51,2
Rendimento depurado (%)	42,9	51,7	52,7	54,4	52,8	51,4	52,9	51,9	51,2
Teor de rejeitos (%)	13,9	3,9	0,7	1,4	0,4	0,2	0,5	0,1	0
Nº kappa	41,0	30,8	26,4	27,9	20,2	16,9	18,8	15,5	13,9
Alvura (%ISO)	34,0	36,6	39,5	36,5	40,2	41,8	37,6	40,0	43,0
Viscosidade intrínseca (cm ³ /g)	537	675	845	835	1130	1221	1221	1218	1105
S ₅ (%)	12,7	12,4	12,7	13,1	13,9	13,8	14,6	14,2	13,5

Para madeira com teor de lignina baixo, o ponto em que as condições permitem encontrar um valor de número kappa próximo a 19 é utilizando-se 170°C de temperatura máxima e 17% de álcali ativo, já se o objetivo for número kappa 17, a temperatura a ser utilizada é de 165°C e álcali ativo de 20%, sendo que estes valores servem apenas como indicativo para as faixas de condições ótimas, onde serão levadas em conta as outras características analisadas.

TABELA 2: Médias das quatro repetições das análises das polpas marrons e do licor preto, obtidas dos cavacos com nível de teor de lignina alto

Temperatura máxima	160°C			165°C			170°C		
	17	18,5	20	17	18,5	20	17	18,5	20
Álcali ativo inicial (%)	17	18,5	20	17	18,5	20	17	18,5	20
pH	12,43	12,77	12,85	12,24	12,47	12,51	11,85	12,24	12,60
Álcali efetivo inicial (%)	15,30	16,65	18,00	15,30	16,65	18,00	15,30	16,65	18,00
Álcali efetivo consumido (%)	14,31	15,01	15,34	14,86	15,33	15,89	15,21	15,68	16,51
Álcali efetivo residual (%)	0,99	1,64	2,66	0,44	1,32	2,11	0,09	0,97	1,49
Rendimento bruto (%)	57,5	54,6	52,8	54,0	51,6	51,0	51,5	51,7	50,0
Rendimento depurado (%)	33,1	46,9	50,8	49,0	51,0	50,9	50,6	51,5	49,9
Teor de rejeitos (%)	24,4	7,7	2,0	5,0	0,6	0,1	0,9	0,2	0,1
Nº kappa	50,6	37,1	31,6	33,7	24,2	20,4	23,7	18,3	15,8
Alvura (%ISO)	31,0	34,3	36,7	33,0	37,6	40,6	34,6	38,7	40,6
Viscosidade intrínseca (cm ³ /g)	442	565	691	676	947	1065	1031	1177	1102
S ₅ (%)	13,2	12,7	12,6	13,2	14,0	14,1	14,7	14,9	14,3

Para a madeira com teor de lignina alto, (Tabela 2), levando-se em conta apenas o valor do número kappa obtido e não as melhores condições para as outras características analisadas nos cozimentos, a condição para se ter um número kappa entre 17 e 19 é utilizar aproximadamente 170°C de temperatura máxima e 18,5% de álcali ativo. Entretanto, as melhores combinações entre essas variáveis surgirão do estudo de otimização estatística.

Otimização das condições de cozimento kraft para madeira de *Eucalyptus globulus* com teor de lignina baixo e teor de lignina alto

Nas Figuras 1 e 2, são apresentados os resultados estimados pela equação de álcali ativo em função da faixa de número kappa desejado e das temperaturas máximas estipuladas, para madeiras com teor de lignina baixo e alto, respectivamente.

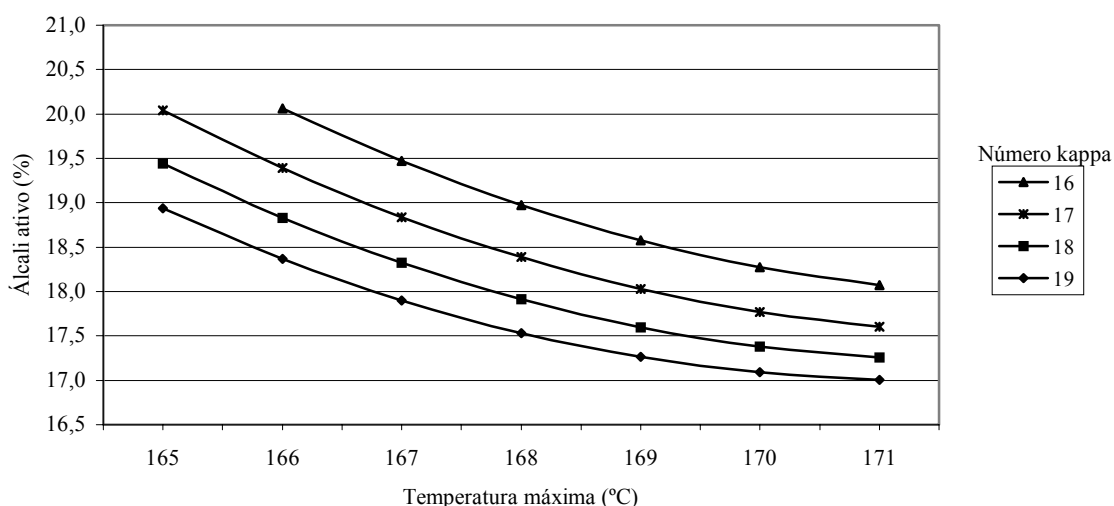


FIGURA 1: Curvas de mesmo kappa para álcali ativo em função da temperatura máxima de cozimento (lignina baixa).

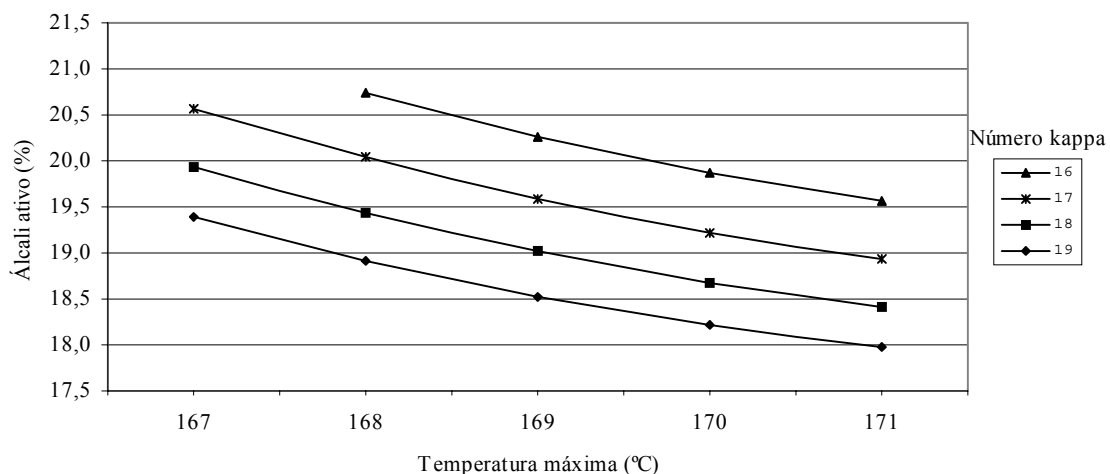


FIGURA 2: Curvas de mesmo kappa para álcali ativo em função da temperatura máxima de cozimento (lignina alta).

Como se pode verificar, para os quatro níveis de número kappa, as curvas são decrescentes em relação ao álcali ativo para temperaturas máximas maiores. O menor valor de álcali ativo foi obtido a 171°C para número kappa 19 para ambos os teores de lignina. Os menores valores de álcali ativo a 171°C para lignina alta, são em média cerca de 1% superiores em relação aos obtidos para o teor baixo de lignina, o que indica uma menor necessidade de carga alcalina para madeiras com menor quantidade de lignina.

Carvalho (1999), encontrou que para um mesmo grau de deslignificação, o aumento da carga alcalina, permite diminuir a temperatura máxima de cozimento, ou inversamente, o aumento da temperatura máxima permite redução do álcali ativo, mantido fixo o tempo de cozimento.

Gomide & Colodette (1983) encontraram que para obter valores de número kappa entre 15 e 20, para polpa de *Eucalyptus grandis*, as temperaturas necessárias estão entre 165 e 170°C, utilizando 15% de álcali ativo como Na₂O e 30% de sulfidez.

Nas Figuras 3 e 4, são apresentadas as tendências dos resultados estimados para álcali efetivo consumido em função dos álcalis ativos estimados e temperaturas máximas de cozimento para cada nível de número kappa desejado para madeiras com teor de lignina baixo e alto, respectivamente.

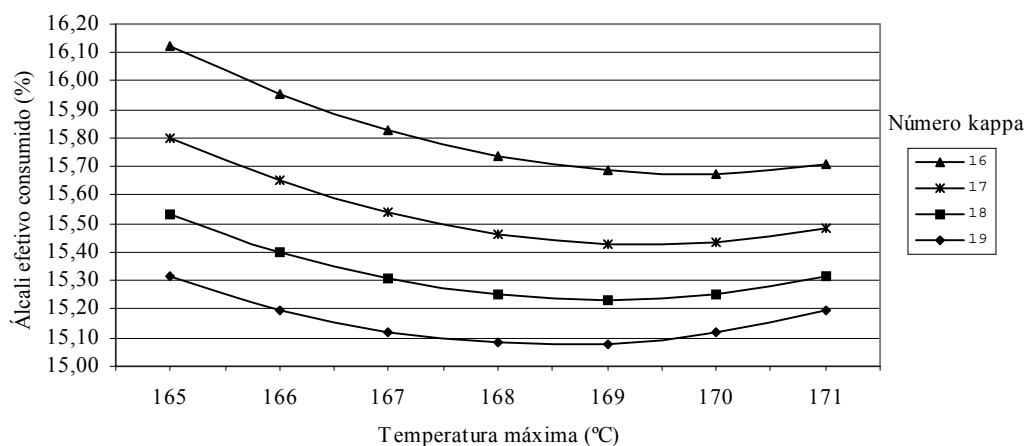


FIGURA 3: Curvas de mesmo kappa para álcali efetivo consumido em função da temperatura máxima de cozimento (lignina baixa).

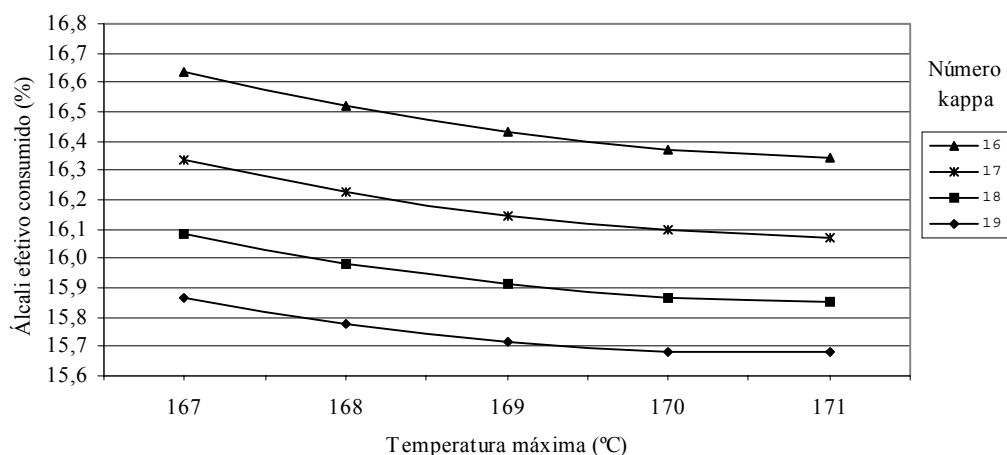


FIGURA 4: Curvas de mesmo kappa para álcali efetivo consumido em função da temperatura máxima de cozimento (lignina alta).

Nota-se que cozimentos com maiores valores de número kappa consomem quantidades menores de álcali efetivo e que o consumo tende a diminuir com o aumento da temperatura máxima até 169°C, aumentado levemente a partir desta. Conforme a Figura 1, anteriormente apresentada, temperaturas maiores necessitam menores quantidades de álcali ativo. Isto explica o comportamento das curvas da Figura 3, pois se é aplicado menor quantidade de álcali ativo para temperaturas máximas maiores, menos álcali efetivo se tem para consumir na deslignificação, ocasionando, às vezes, queda no pH do licor preto por insuficiência de carga alcalina. Por isso, os cuidados nas temperaturas mais elevadas devem ser maiores para evitar reprecipitação de lignina e perdas no rendimento depurado. Em contrapartida, há vantagens associadas a esse procedimento pois pode-se aumentar valores de análises como o da viscosidade intrínseca da polpa.

Da mesma maneira como ocorreu para o teor de lignina baixo, para o álcali efetivo consumido em cozimentos com madeiras de alto teor de lignina, valores maiores de número kappa consomem quantidades menores de álcali efetivo, sendo que, o consumo tende a diminuir com o aumento da temperatura máxima. Como explicado anteriormente, isso se deve ao fato de temperaturas maiores necessitarem menores quantidades de álcali ativo para obter o mesmo número kappa.

Nas Figuras 5 e 6, são apresentadas as tendências dos resultados estimados para álcali efetivo residual em função dos álcalis ativos estimados e temperaturas máximas de cozimento para cada nível de número kappa desejado, para madeiras com teor de lignina baixo e alto, respectivamente.

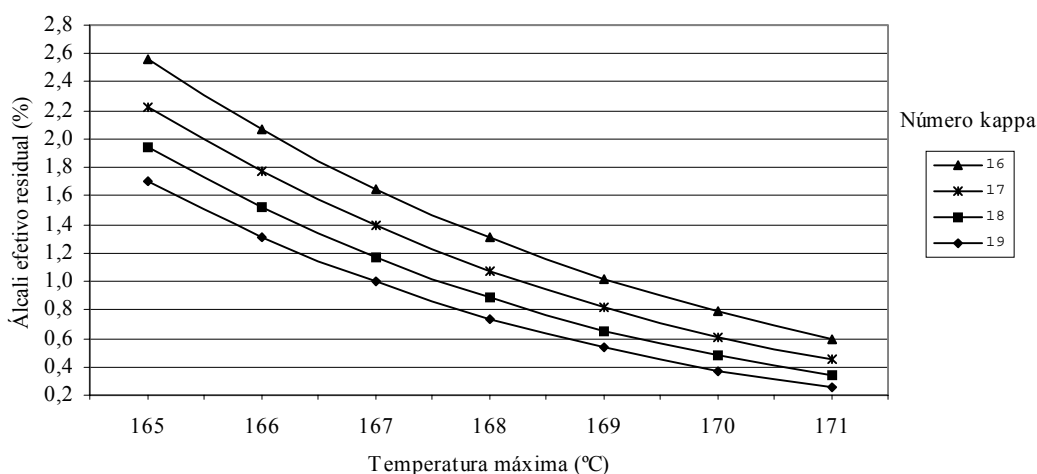


FIGURA 5: Curvas de mesmo kappa para álcali efetivo residual em função da temperatura máxima de cozimento (lignina baixa).

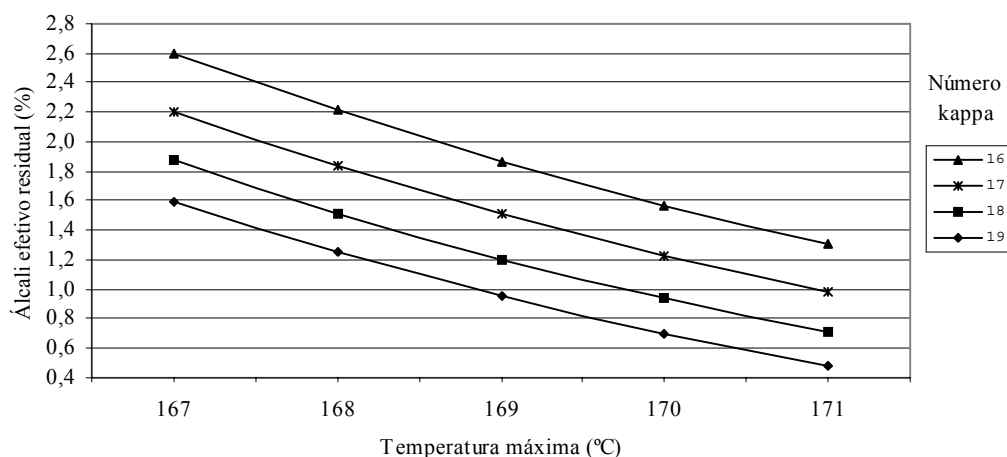


FIGURA 6: Curvas de mesmo kappa para álcali efetivo residual em função da temperatura máxima de cozimento (lignina alta).

As curvas foram decrescentes com o aumento da temperatura, ou seja, maiores temperaturas, em que menores álcalis ativos são necessários para se alcançar o número kappa desejado, acabam fazendo com que o residual de álcali efetivo fique no limite do aceitável, como se pode visualizar na Figura 5, na qual para temperatura máxima de 171°C, os residuais de álcali efetivo ficaram entre 0,2 e 0,6%.

Como se vê nas Figuras 5 e 6, a curva de mesmo kappa 16, apresentou valores residuais de álcali efetivo, superiores à curva de mesmo kappa 19. Para se obter número kappa 16, foi necessário aplicar maior quantidade de álcali ativo e, por isso, sobrou mais álcali efetivo, porque, no final do cozimento, o consumo não foi tão grande. Precisa-se colocar mais álcali ativo para uma remoção pequena de lignina. A efetividade da designificação não é tão grande no final do cozimento, até porque a maior parte da lignina já foi removida até esse momento.

Nas Figuras 7 e 8, são apresentadas as tendências dos resultados estimados para o potencial de hidrogênio iônico (pH) do licor preto em função dos álcalis ativos estimados e temperaturas máximas de cozimento para cada nível de número kappa desejado, para madeiras com teor de lignina baixo e alto, respectivamente.

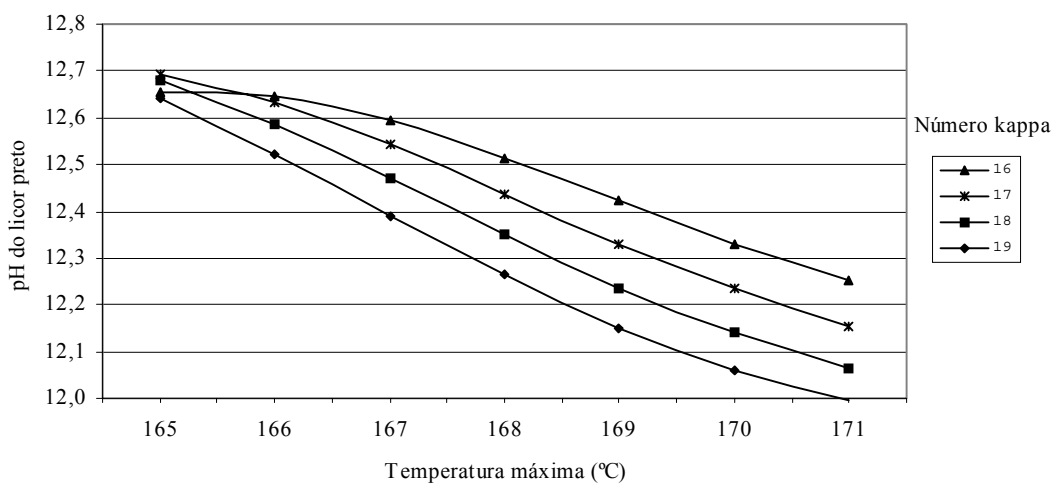


FIGURA 7: Curvas de mesmo kappa para o pH do licor preto em função da temperatura máxima de cozimento (lignina baixa).

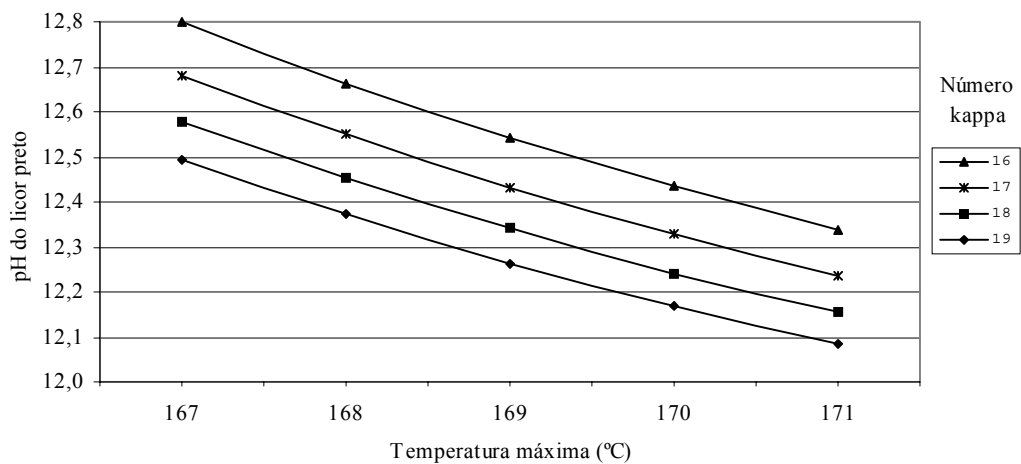


FIGURA 8: Curvas de mesmo kappa para o pH do licor preto em função da temperatura máxima de cozimento (lignina alta).

As curvas de pH do licor preto seguiram a tendência esperada segundo o que ocorreu com o consumo e o resíduo de álcali efetivo. Cozimentos, a temperaturas máximas estimadas de 171°C, apresentaram valores de pH próximos ou igual a 12, pois nessa temperatura, os valores de álcali efetivo residual são mínimos.

Os valores do pH do licor preto foram decrescentes com o aumento da temperatura máxima de cozimento e, por conseqüência, menores valores de álcali ativo aplicados. Os resultados da Figura 8 foram similares aos encontrados para os cozimentos das madeiras de baixo teor de lignina. Para se alcançar números kappa mais baixos, foram necessárias maiores cargas de álcali ativo que resultaram, ao final do cozimento, em valores de pH mais altos para as polpas de número kappa 16 e mais baixos para número kappa 19.

Observa-se nas figuras anteriores, que também para o pH do licor preto se confirma o maior residual de álcali efetivo para os números kappa menores. Isso, sem dúvida, se deve às maiores quantidades de álcali ativo adicionadas para de alcançar esses menores valores de número kappa.

Nas Figuras 9 e 10, são apresentadas as tendências dos resultados estimados para rendimento depurado em função dos álcalis ativos estimados e temperaturas máximas de cozimento, para cada nível de número kappa desejado, para madeiras com teor de lignina baixo e alto, respectivamente.

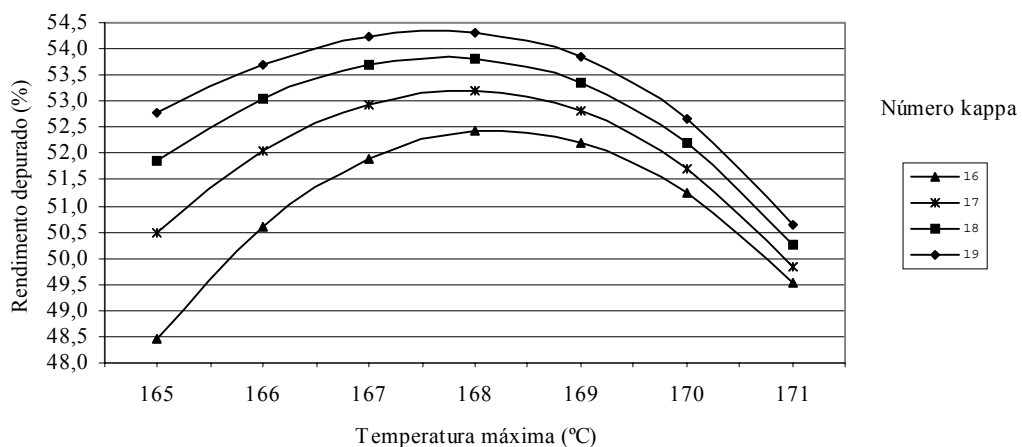


FIGURA 9: Curvas de mesmo kappa para rendimento depurado em função da temperatura máxima de cozimento (lignina baixa).

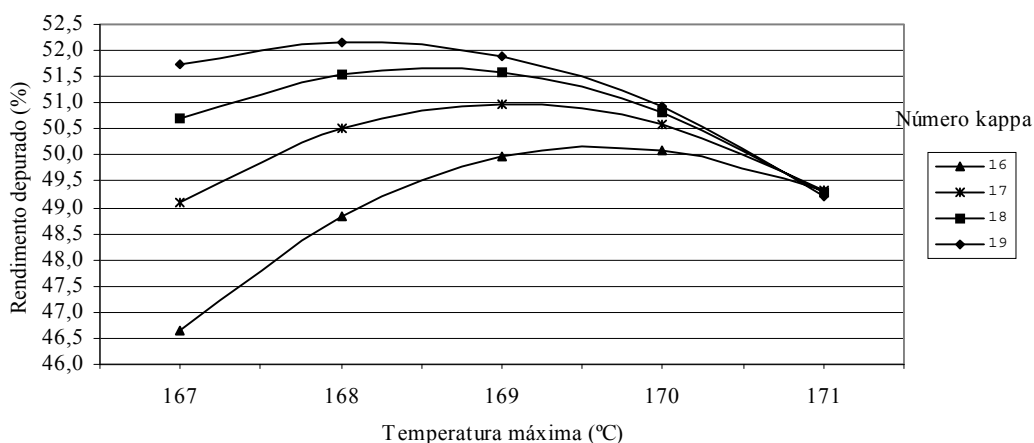


FIGURA 10: Curvas de mesmo kappa para rendimento depurado em função da temperatura máxima de cozimento (lignina alta).

Verificam-se que os rendimentos depurados para madeira com teor de lignina baixo tiveram um comportamento semelhante frente ao número kappa, com um aumento para maiores valores de número kappa, sendo que em relação à temperatura máxima os resultados foram crescentes até aproximadamente 168°C e diminuíram a partir desta, indicando um ponto máximo próximo a 54% a 168°C, utilizando-se um álcali ativo de aproximadamente 18% para kappa 18, segundo a Figura 1. Para madeira com teor de lignina alto os maiores rendimentos encontram-se em torno de 51,6% para temperaturas máximas de 168 e 169°C para kappa 18. Em comparação com os maiores pontos de rendimento depurado, para madeiras com baixo teor de lignina, o teor alto apresenta valores estimados cerca de 2% inferiores, além de necessitar maior quantidade de álcali ativo para mesmos níveis de número kappa.

Sacon *et al.* (1995), otimizando a melhor condição de carga de álcali ativo para *Eucalyptus globulus* com 22% de teor de lignina, encontraram o máximo rendimento depurado (52,34%) utilizando 18,5% de álcali ativo, sendo a temperatura máxima utilizada de 170°C e o número kappa objetivado de 15.

Repetti (1992) obteve rendimento de 53,1% e um número kappa de 25,1 para madeira de *Eucalyptus globulus* com 19,7% de teor de lignina.

Nas Figuras 11 e 12, são apresentadas as tendências dos resultados estimados para teor de rejeitos em função dos álcalis ativos estimados e temperaturas máximas de cozimento para cada nível de número kappa desejado, para madeiras com teor de lignina baixo e alto, respectivamente.

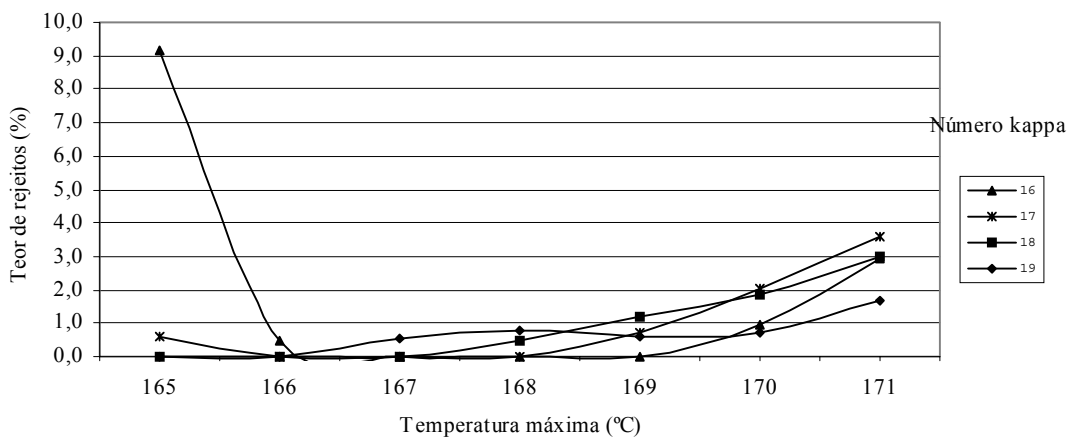


FIGURA 11: Curvas de mesmo kappa para teor de rejeitos em função da temperatura máxima de cozimento (lignina baixa).

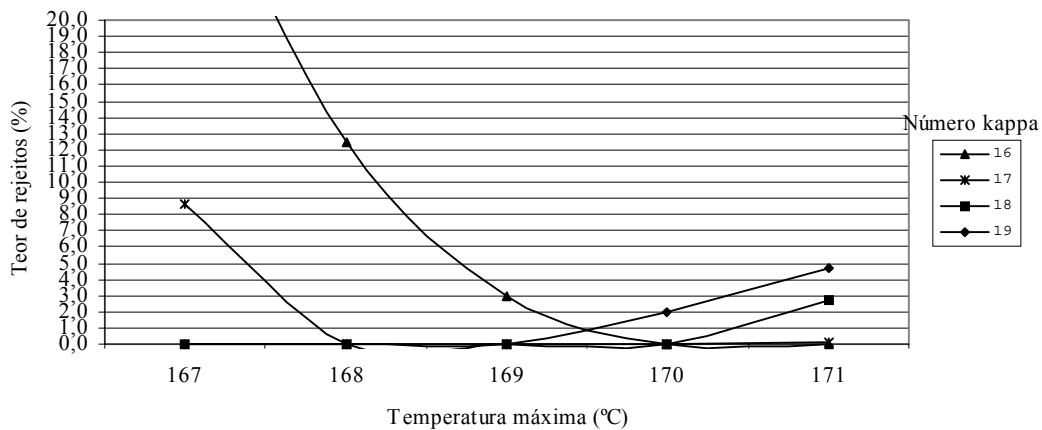


FIGURA 12: Curvas de mesmo kappa para teor de rejeitos em função da temperatura máxima de cozimento (lignina alta).

Comparando-se a Figura 11 com a Figura 9 de rendimento depurado, verifica-se uma relação existente entre as curvas, pois: o menor rendimento depurado ocorre a 165°C para número kappa 16 e a maior quantidade de rejeitos ocorre também neste ponto; os rendimentos depurados diminuíram a partir da temperatura máxima de 168°C; os rejeitos tendem a aumentar com o aumento da temperatura máxima a partir deste ponto com a utilização de menor carga alcalina, o que, provavelmente, se deve a uma falta de álcali, decorrendo em perdas de produção do processo.

Observando a Figura 12, verifica-se que o teor de rejeitos para lignina alta apresenta o seu maior ponto a temperatura máxima de 167°C para a maior percentagem de álcali ativo estimado, em torno de 21,3%. Este ponto de maior quantidade de rejeitos é superior a 20%, base madeira, para a curva de número kappa 16 e, comparando-se com o maior teor de rejeitos para o teor baixo de lignina, apresenta cerca de 22 pontos percentuais superior a este para o mesmo número kappa 16.

Comparando-se as figuras de rendimento depurado com as figuras do teor de rejeitos, verifica-se a existência de uma relação dos pontos de maior rendimento depurado com os pontos de menor quantidade de rejeitos e vice-versa. Carvalho (1999) descreveu a forte dependência do rendimento depurado e do teor de rejeitos em relação à carga alcalina.

Nas Figuras 13 e 14, são apresentadas as tendências dos resultados estimados para viscosidade intrínseca em função dos álcalis ativos estimados e temperaturas máximas de cozimento para cada nível de número kappa desejado, para madeiras com teor de lignina baixo e alto, respectivamente.

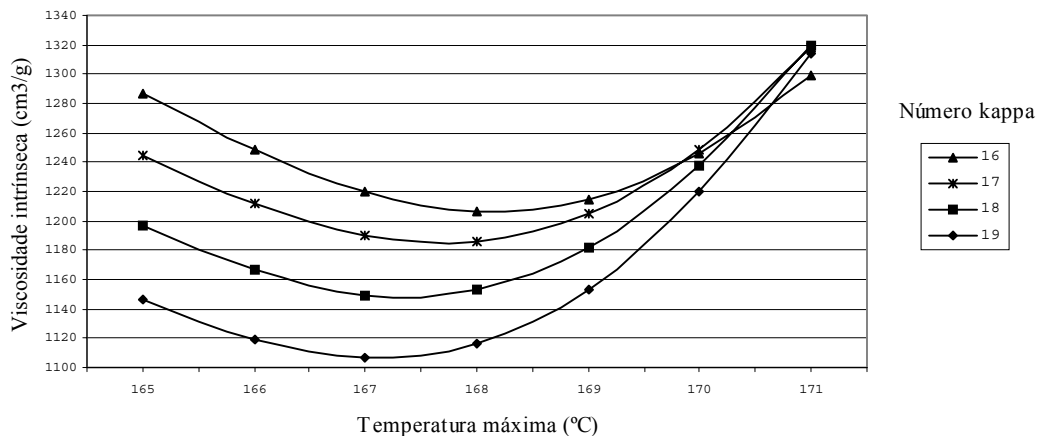


FIGURA 13: Curvas de mesmo kappa para viscosidade intrínseca em função da temperatura máxima de cozimento (lignina baixa).

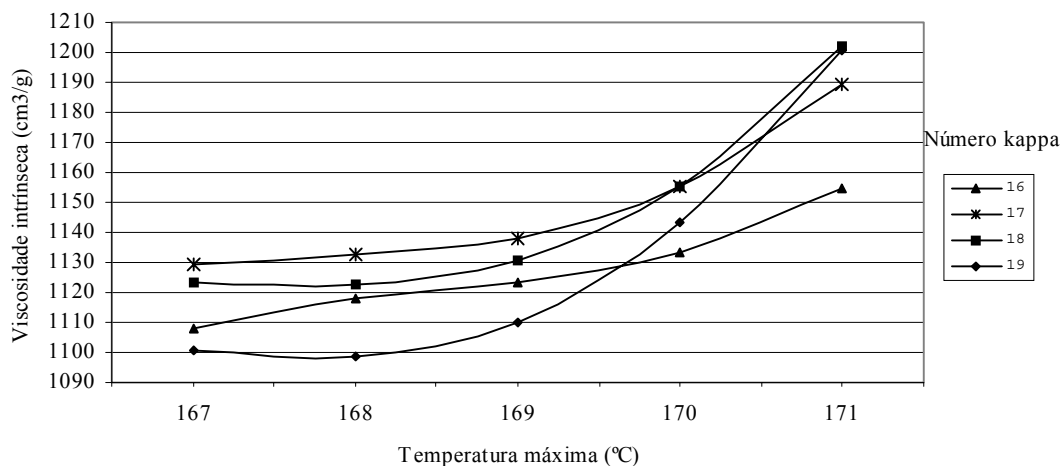


FIGURA 14: Curvas de mesmo kappa para viscosidade intrínseca em função da temperatura máxima de cozimento (lignina alta).

Observando a Figura 13 verifica-se que a viscosidade diminui até temperaturas de 167°C e volta a aumentar em temperaturas superiores a esta, tendo-se encontrado os máximos valores à temperatura máxima de 171°C, que foram estimados utilizando os menores álcalis ativos. Os maiores valores de número kappa tendem a apresentar menor viscosidade, apresentando uma tendência de mudança com o aumento da temperatura. Também a Figura 14 mostra que a viscosidade intrínseca, estimada da polpa obtida de madeira de *Eucalyptus globulus* com teor de lignina alto, tem seu ponto máximo a 171°C com o menor álcali ativo aplicado. Em comparação com as condições otimizadas da polpa obtida para madeira de teor baixo de lignina estes valores ficam em torno de 120 pontos abaixo desta. O ponto máximo da viscosidade intrínseca para madeira com teor alto de lignina é em torno de 1200 cm³/g, enquanto para o teor baixo de lignina, o ponto ótimo da viscosidade foi de, aproximadamente, 1320 cm³/g para valores de número kappa de 18 a 19.

Sacon *et al.* (1995) encontraram a máxima viscosidade (1189 cm³/g) e o máximo S₅ (12%) para a madeira de *Eucalyptus globulus*, utilizando 18% de álcali ativo, 170°C de temperatura máxima e obtendo número kappa 15.

Nas Figuras 15 e 16, são apresentadas as tendências dos resultados estimados para solubilidade em NaOH_{5%} em função dos álcalis ativos estimados e temperaturas máximas de cozimento para cada nível de número kappa desejado, para madeiras com teor de lignina baixo e alto, respectivamente.

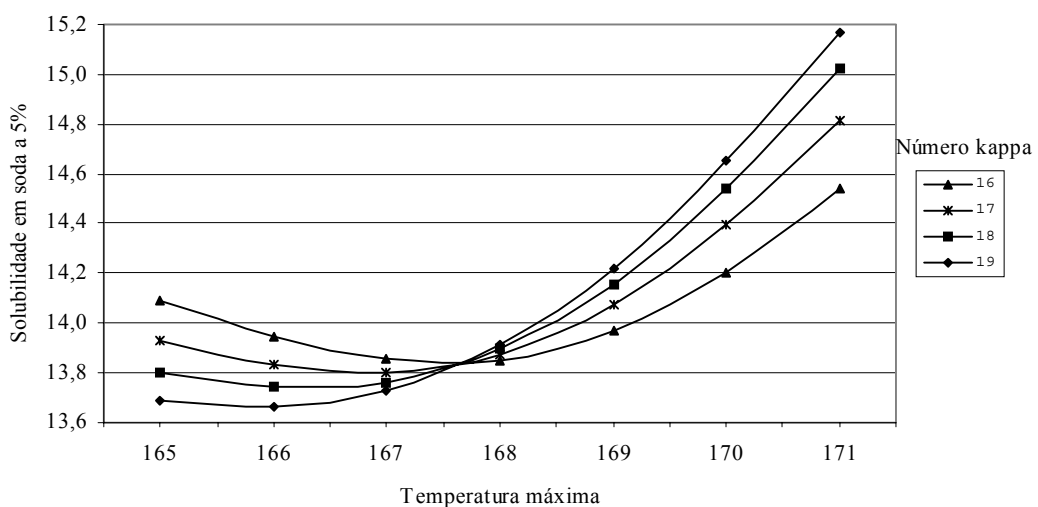


FIGURA 15: Curvas de mesmo kappa para solubilidade em soda a 5% em função da temperatura máxima de cozimento (lignina baixa).

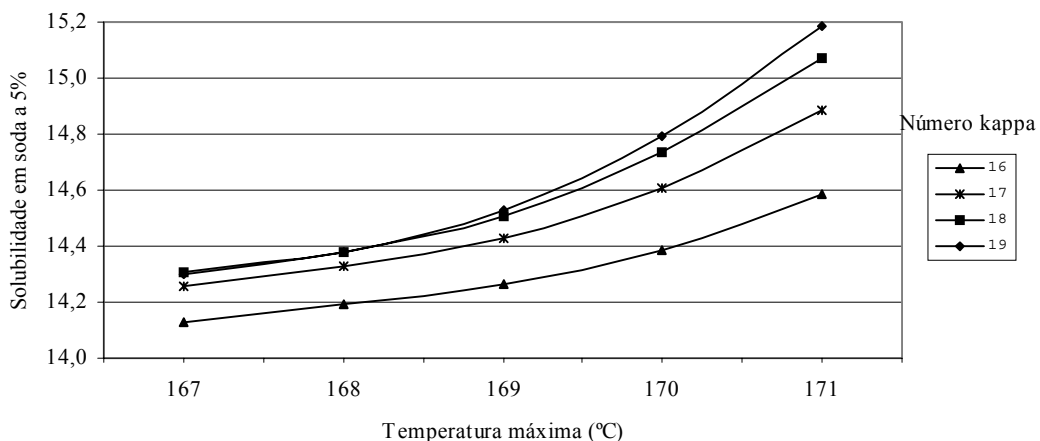


FIGURA 16: Curvas de mesmo kappa para solubilidade em soda a 5% em função da temperatura máxima de cozimento (lignina alta).

Na Figura 15, fica claro o comportamento das curvas frente às temperaturas máximas, sendo o maior valor obtido, aproximadamente, 15,2, a 171°C para kappa 19, o que se deve à utilização de menores valores de álcali ativo para se obter o mesmo número kappa.

Comparando-se a Figura 15 e a Figura 16, verifica-se que o comportamento do S_5 , para os dois níveis de lignina, foi muito semelhante, sendo que a temperatura ótima para obter o máximo S_5 é de 171°C. Contudo, para o teor baixo de lignina, a carga alcalina pode ser menor para se chegar ao mesmo S_5 .

Nas Figuras 17 e 18, são apresentadas as tendências dos resultados estimados para alvura em função dos álcalis ativos estimados e temperaturas máximas de cozimento para cada nível de número kappa desejado, para madeiras com teor de lignina baixo e alto, respectivamente.

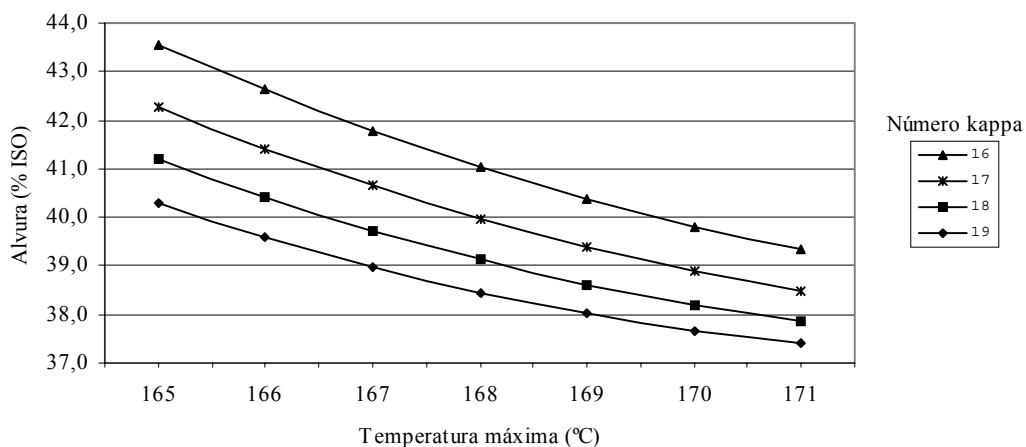


FIGURA 17: Curvas de mesmo kappa para a alvura da celulose em função da temperatura máxima de cozimento (lignina baixa).

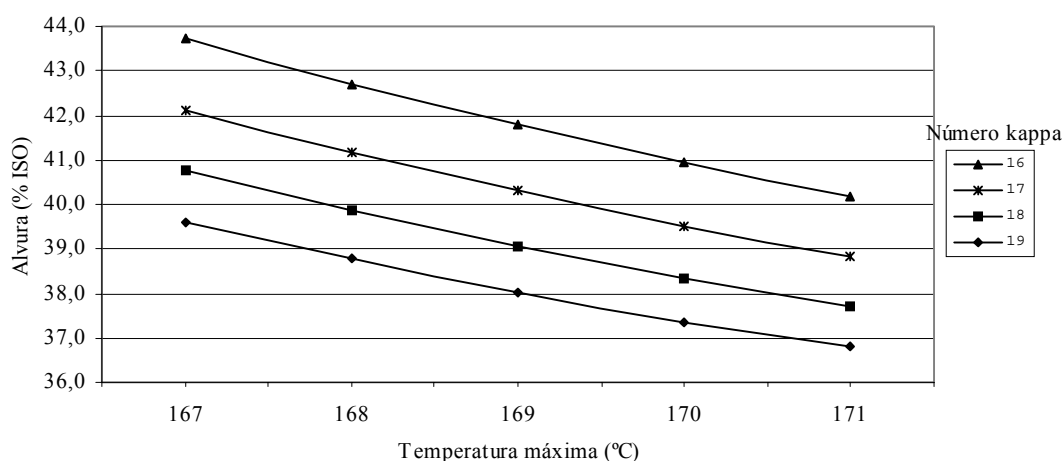


FIGURA 18: Curvas de mesmo kappa para a alvura da celulose em função da temperatura máxima de cozimento (lignina alta).

Na Figura 17, pode-se visualizar que os maiores valores de alvura encontram-se próximos as menores temperaturas máximas de cozimento, variando de 40 a 43%ISO para números kappa de 19 a 16.

A Figura 18 mostra que a alvura foi decrescente com o aumento da temperatura máxima e que os pontos máximos variam em torno de 36 a 44%ISO, conforme o número kappa desejado, e que estes valores são semelhantes aos obtidos para o teor de lignina baixo. Mais uma vez, nota-se a influência da inter-relação entre temperatura, álcali ativo aplicado e álcali efetivo residual.

Na Tabela 3, são apresentados os valores finais estimados para realizar a otimização dos resultados dos cozimentos em função da temperatura máxima e do álcali ativo aplicado para obter-se um número kappa igual a 18 cozinhando-se madeiras de *Eucalyptus globulus* com baixo teor de lignina.

TABELA 3: Otimização para número kappa 18 (lignina baixa)

Temp. Máxima	Álcali ativo (%)	Álcali efetivo consumido (%)	Álcali efetivo residual (%)	pH	Rend. depurado (%)	Teor de rejeitos (%)	Viscosidade intrínseca (cm ³ /g)	S ₅ (%)	Alvura (%ISO)
165°C	19,4	15,54	1,9	12,7	51,9	0	1197	13,8	41,2
166°C	18,8	15,40	1,5	12,6	53	0	1167	13,7	40,4
167°C	18,3	15,31	1,2	12,5	53,7	0	1150	13,8	39,7
168°C	17,9	15,25	0,9	12,3	53,8	0,5	1153	13,9	39,1
169°C	17,6	15,23	0,7	12,2	53,4	1,2	1181	14,2	38,6
170°C	17,4	15,25	0,5	12,1	52,2	1,9	1237	14,5	38,2
171°C	17,3	15,32	0,3	12,1	50,3	3	1320	15	37,9

Conforme a Tabela 3 a condição otimizada para cozinhar madeira de *Eucalyptus globulus* com baixo teor de lignina para obter número kappa de 18 e o maior rendimento depurado estimado, é usar uma temperatura máxima de 168°C e um álcali ativo de 17,9%. Se o objetivo for celulose com maior viscosidade e hemicelulose menos degradada a temperatura máxima a ser usada é 169°C. Entretanto, temperaturas superiores levam a uma redução do pH do licor preto e diminuição do álcali efetivo residual a níveis abaixo do recomendado. Para obter polpas marrons com alvura superior a 41%ISO a condição a ser usada é 165°C de temperatura máxima e 19,4% de álcali ativo.

Na Tabela 4, são apresentados os valores finais estimados para realizar a otimização dos resultados dos cozimentos, em função da temperatura máxima e do álcali ativo aplicado para obter-se um número kappa igual a 18, cozinhando-se madeiras de *Eucalyptus globulus* com alto teor de lignina.

TABELA 4: Otimização para número kappa 18 (lignina alta)

Temp. máxima	Álcali ativo (%)	Álcali efetivo consumido (%)	Álcali efetivo residual (%)	pH	Rend. depurado (%)	Teor de rejeitos (%)	Viscosidade intrínseca (cm ³ /g)	S ₅ (%)	Alvura (%ISO)
167°C	19,9	16,1	1,9	12,6	50,7	0	1123	14,3	40,8
168°C	19,4	16,0	1,5	12,5	51,6	0	1123	14,4	39,9
169°C	19	15,9	1,2	12,3	51,6	0	1131	14,5	39,1
170°C	18,7	15,9	0,9	12,2	50,8	0	1156	14,7	38,3
171°C	18,4	15,9	0,7	12,2	49,3	2,7	1202	15,1	37,7

Observando-se a Tabela 4, verifica-se que para obter um número kappa 18, cozinhando-se madeira de *Eucalyptus globulus* com alto teor de lignina e obter-se o máximo rendimento depurado estimado, celulose com boa viscosidade intrínseca e sem diminuir excessivamente o álcali efetivo residual e o pH, as condições otimizadas indicam uma temperatura máxima de 169°C e um álcali ativo de 19% ou uma temperatura máxima de 168°C e um álcali ativo de 19,4%. A maior alvura é obtida com menor temperatura (167°C) e maior álcali ativo (19,9%).

CONCLUSÕES

Com base nos resultados encontrados, apresentam-se a seguir, as conclusões sobre a otimização para cada tipo de madeira de *Eucalyptus globulus*, e, posteriormente, uma conclusão geral para o experimento:

– Madeira de *Eucalyptus globulus* com nível de teor de lignina baixo: as condições otimizadas para cozinhar madeira de *Eucalyptus globulus* com baixo teor de lignina, a fim de se obter valores de número kappa na faixa de 16 a 19, e os melhores rendimentos e condições operacionais, obtêm-se usando temperaturas máximas de, aproximadamente, 167 a 168°C e álcalis ativos de 17,5 a 19%; sendo os valores mais altos, necessários para os menores valores de número kappa. Se o objetivo for celulose com maior viscosidade e hemicelulose menos degradada, a temperatura máxima a ser usada é 169°C e o álcali ativo depende do número kappa desejado. Temperaturas superiores levam a uma redução do pH do licor preto e diminuição do álcali efetivo residual a níveis próximos do mínimo recomendado. Isso se deve às menores cargas de álcali ativo (17,1 a 18,3%), ou seja, ao se aumentar a temperatura, deve-se reduzir a carga de álcali ativo e vice-versa. Polpas não-branqueadas com alvura superior a 40%ISO, foram obtidas usando-se 165°C de temperatura máxima e álcali ativo variando de 18,9 a 20,8%, entretanto a níveis não ótimos de rendimentos;

– Madeira de *Eucalyptus globulus* com nível de teor de lignina alto: para se obter valores de número kappa na faixa de 17 a 19, cozinhando-se madeira de *Eucalyptus globulus* com alto teor de lignina, obtendo-se o máximo rendimento depurado estimado, as condições otimizadas indicam uma temperatura máxima de 169°C, com álcali ativo variando de 18,5 a 19,6%, sendo os valores mais altos de álcali necessários para os menores valores de número kappa. Para número kappa 16, as estimativas indicam a necessidade de maior temperatura (170°C) e álcali ativo (19,9%). As maiores percentagens de alvuras são obtidas com temperatura de 167°C e álcali ativo variando de 19,4 a 21,3%, conforme o número kappa desejado. Maiores valores de viscosidade e S₅ são obtidos utilizando-se temperaturas mais elevadas e cargas alcalinas mais baixas.

Como conclusões obtidas a partir dos resultados gerados pela otimização dos dois níveis de teor de lignina, verifica-se que:

– o aumento das temperaturas máximas de cozimento permite a utilização de menores quantidades de álcali ativo para se obter valores de número kappa em uma faixa de 16 a 19, desde que haja uma quantidade adequada de álcali para consumo pelas madeiras;

– em função das menores cargas alcalinas para as maiores temperaturas máximas, em torno de 170°C, ocorre uma redução do álcali efetivo residual e do pH do licor preto, o que exige um

cuidado adicional para evitar que falte álcali ao final do cozimento, com os problemas de reprecipitação de lignina e escurecimento da polpa que isso possa vir a causar;

– temperaturas superiores a 169°C, mesmo com a utilização de menor carga alcalina para alcançar o número kappa desejado, acabam reduzindo o rendimento depurado tanto para madeira com teor de lignina baixo como para madeira com teor de lignina alto;

– o teor de lignina baixo, nas madeiras de *Eucalyptus globulus*, faz com que os valores estimados e otimizados de rendimento depurado sejam, em média, 2,2% superiores em relação à madeira com alto teor de lignina, além de necessitarem, em média, 1,2% a menos de quantidade de álcali ativo base madeira para obter mesmos valores de número kappa em uma faixa de 16 a 19;

– a polpa obtida da madeira com teor de lignina baixo apresenta viscosidade intrínseca, em média, 126 cm³/g superior em relação à polpa obtida da madeira de alto teor de lignina, para o mesmo nível de número kappa;

– a solubilidade em soda a 5% da polpa foi pouco influenciada pelo teor de lignina da madeira, sendo mais afetada pelas condições de cozimento (temperatura máxima e carga de álcali ativo);

– cozimentos otimizados para obter número kappa 19 resultam em rendimentos depurados, em média, 1,9% superiores, em comparação com cozimentos de número kappa 16, para madeira com baixo teor de lignina, e 2,1% superiores, para madeiras com alto teor de lignina.

Como conclusão geral, pode-se afirmar que, com uma redução média de 2,49% no teor de lignina na madeira de *Eucalyptus globulus*, conseguiu-se um ganho médio de 2,2% no rendimento depurado, base madeira, e uma redução média de 1,2% de álcali ativo aplicado, base madeira, obtendo-se mesmos valores de número kappa de 16 a 19 e mantendo-se as demais propriedades da celulose com bons níveis de qualidade. Se, adicionalmente, optar-se por utilizar números kappa 19 em vez de 16, o ganho em rendimento depurado é de cerca de 2%. Isso significa que com madeira de baixo teor de lignina e número kappa 19 consegue-se cerca de 4,2% a mais de rendimento depurado e 2 a 2,5% a menos de carga aplicada de álcali ativo em relação a madeira de alto teor de lignina deslignificada, a número kappa 16.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Klabin Riocell S.A., a CAPES e à Universidade Federal de Santa Maria por criarem as condições para a execução e elaboração dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J.M. & SILVA, D.J. Inclusão de um novo e importante parâmetro potencial de seleção de eucalipto para produção de polpa kraft. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, v. 3, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador : 1997. p. 228-233.

ASSIS, T.F. & FERREIRA, G.W. **A situação do *Eucalyptus globulus* na Riocell.** Guaíba : RIOCELL, 1996. 6 p. (Relatório Técnico, n. 1330).

BARRICHELO, L.E.G. & BRITO, J.O. Variação das características da madeira de *Eucalyptus grandis* e suas correlações com a produção de celulose. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP E I CONGRESSO BRASILEIRO DE CELULOSE E PAPEL, 10., 1977, São Paulo. **Anais...** São Paulo : Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel, 1977. p. 41-46.

BRACELPA. **Avaliação do setor de celulose e papel.** Associação Brasileira de Celulose e Papel. Disponível em: <<http://www.bracelpa.com.br/Portugues/Aval2001.html>> Acesso em: 12 de março de 2002.

BUGAJER, S.; LIMA, A.F.; PINHO, M.R.R. Otimização do processo de polpação kraft de eucalipto. **O Papel**, São Paulo, p. 41-47, fev. 1980.

BUSNARDO, C.A. **Estudos sobre a deslignificação da madeira de *Eucalyptus urophylla* de origem híbrida, pelo processo kraft, para produção de celulose.** 1981. 194f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1981.

CARVALHO, M.G.V.S. **Efeito das variáveis de cozimento nas características químicas de pastas kraft de *Eucalyptus globulus*.** 1999. 269f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 1999.

DIAS, R.L.V. & CORREA, S.A.C. Contribuição para o efeito de variáveis do cozimento em propriedades da polpa de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 13., 1980, São Paulo. **Anais...** São Paulo : Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel, 1980. p. 5-18.

FOELKEL, C.E.B. Processo kraft. In: **Química dos processos de produção de celulose.** Belo Oriente: CENIBRA/UFV, 1977. 73 p.

FREDDO, A.; FOELKEL, C.E.B.; FRIZZO, S.M.B.; SILVA, M.C.M. Elementos minerais em madeiras de eucaliptos e acácia negra e sua influência na indústria de celulose kraft branqueada. **Ciência Florestal**, v. 9, n.1, p. 193 - 209, 1999.

GOES, E. **A floresta portuguesa:** sua importância e descrição das espécies de maior interesse. Portugal : Portucel, 1991, 259 p.

GOMIDE, J.L. & COLODETTE, J.L. Avaliação estatística da otimização de parâmetros da polpação kraft de eucalipto. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3., v. 1, 1983, São Paulo. **Anais....** São Paulo : Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel, 1983. p. 317-327.

KLABIN RIOCELL. **Cozimento kraft.** Guaíba, 1997. 9 p.

MEZZOMO, L.X.; MARTINS, M.A.; FOELKEL, C.E.B. *et al.* Potencialidade de quatro espécies de *Eucalyptus* cultivados na Bahia, para produção de celulose solúvel branqueada. **O Papel**, São Paulo, v. 11, p. 71-80, 1997.

POYNTON, R.J. **Tree planting in Southern Africa:** the *Eucalyptus*. Republic of South Africa. v.2, 1979. 882 p.

REPETTI, R. Aptitud tecnológica de los eucaliptos *E. globulus*, *E. viminalis*, *E. saligna* y *E. grandis* para su utilización en la elaboración de pastas kraft. In: **Palestra os eucaliptos na Argentina e sua potencialidade para produção de celulose e papel.** Guaíba: Riocell, 1992. Paginação irregular. Material impresso.

SACON, V.; DIAS, J.; ASSIS, T.F. **Avaliação preliminar do comportamento das madeiras de *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus maidenii*, *Eucalyptus biscostrata*, e *Eucalyptus saligna*.** Guaíba : RIOCELL, 1995. (Relatório Técnico, n. 1155).

SANTOS, C.R. **Métodos não-convencionais para determinação de celulose como parâmetro de seleção de árvores matrizes visando a produção de polpa kraft-AQ.** 2000. 117f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ, Piracicaba, 2000.

STATISTICAL GRAPHICS CORPORATION. Statgraphics – Statistical Graphics System. **User’s Guide.** STSC, USA, 1986.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Estrutura e Apresentação de Monografias, Dissertações e Teses.** 5. ed. Santa Maria, 2000.

VALENTE, C.A.; FURTADO, F.P.; SOUZA, A.P.M. *et al.* Improvement program for *Eucalyptus globulus* at PORTUCEL: Technogical component. **APPITA**, v. 45. n. 6, p. 403-407, nov. 1992.