

# Kappa ótimo de cozimento – uma ferramenta versátil para a melhoria do desempenho financeiro de uma planta de celulose de eucaliptos

*Optimum Kappa Cooking - a Versatile Tool to Improve the Financial Performance of an Eucalyptus Pulp Mill*

**Autores:** Annbritt Forsström  
Jiri Basta  
Christian Blom

**Palavras-chave:** polpa de eucalipto, cozimento, deslignificação com oxigênio, branqueamento ECF, simulação por computador, produção, rendimento, consumo de químicos, características de efluentes.

## RESUMO

O conceito anteriormente introduzido em algumas fábricas de celulose de fibras longa e curta de Nível Ótimo de Kappa é aqui adaptado ao processamento de celulose de eucaliptos. Testes de laboratório para aumentar o número kappa do cozimento indicam melhorias tanto de rendimento da polpa ao longo da linha de fibras quanto em algumas propriedades da celulose branqueada. Um número kappa maior antes do branqueamento gera maiores custos químicos e níveis mais elevados de AOX e DQO no efluente do branqueamento antes do tratamento. Como no caso do branqueamento de fibras longas, o aumento nesses níveis depois do

## Abstract

*The Optimum Kappa Level Concept that has previously been implemented in some softwood and hardwood pulps mills is here adapted for the processing of Eucalyptus. Laboratory trials to increase the cooking kappa number show a higher pulp yield throughout the fiber line and an improvement in some properties of the bleached pulps. A higher pulp kappa number prior to bleaching gives higher bleaching chemical costs and higher levels of AOX and COD in the bleaching effluents prior to effluent treatment. As with the softwood bleaching effluents, the increase in these levels after effluent treatment will be rather small and usually manageable.*

*Simulations of an “Imaginary Eucalyptus Pulp Mill” show a significant potential to boost pulp production (over 10% increase) as a result of increasing the pulp yield and lowering the content of dry solids to the recovery when the cooking kappa number is increased by four kappa number units.*

**Keywords:** *eucalyptus pulp, cooking, oxygen delignification, ECF bleaching, computer simulation, production, yield, chemical consumption, effluent characteristics.*

tratamento do efluente será relativamente baixo e normalmente dentro de limites administráveis.

Simulações de uma fábrica imaginária de celulose de eucalipto revelam significativo potencial para a melhoria da produção (cres-

cimento acima de 10%) como resultado do aumento no rendimento da polpa e da diminuição do teor de sólidos secos enviados à recuperação quando se eleva o número kappa do cozimento em cerca de quatro unidades.

## Referências dos autores:

Eka Chemicals AB, Bohus – Suécia  
E-mails: annbritt.forsstrom@eka.com; jiri.basta@eka.com; christian.blom@eka.com

## INTRODUÇÃO

Durante a última década foram introduzidas importantes modificações nas tecnologias de cozimento, principalmente focadas na diminuição do número kappa pós-cozimento. Esses procedimentos de polpação estendida, contudo, podem resultar em perdas substanciais de rendimento (1, 2). Os benefícios da otimização do número kappa do cozimento como recurso para aumentar o rendimento da polpa foram identificados (3-9) e realizados em escala comercial (8-9). Também parece haver tendência para a utilização do Conceito de Nível de Kappa Ótimo para melhorar o desempenho financeiro das fábricas (10). A fábrica Norrsundet, na Suécia, relata como financeiramente atraente a polpação em níveis mais altos de número kappa de cozimento. Nessa planta de polpa kraft de coníferas, o conceito tem sido praticado por mais de um ano (8).

O presente trabalho, pertencente a uma série de estudos que tratam do Conceito de Nível de Kappa Ótimo, apresenta resultados de ensaios de laboratório nos quais cavacos de eucaliptos (*Eucalyptus grandis/saligna*) foram cozidos a diferentes números kappa, submetidos a pré-branqueamento por O<sub>2</sub> e a seqüência de branqueamento D(EOP)D<sub>n</sub>D até alvura ISO superior a 90%. Os efeitos das variações no número kappa do cozimento foram avaliados quanto a rendimento e qualidade da polpa, consumo de químicos de branqueamento e teores de DQO e AOX nos efluentes do branqueamento. Além disso, efetuaram-se simulações na Universidade de Tecnologia/SciTech de Helsinque, na Finlândia, para avaliar o potencial e as conseqüências da elevação da produção de polpa quando do aumento do número kappa do cozimento em uma “Fábrica Imaginária de Polpa de Eucalipto.”

## EXPERIMENTOS

### • Matéria-prima

Cavacos industriais de eucaliptos (*Eucalyptus grandis*, 60%; *saligna*, 40%).

### • Cozimento

Os cavacos foram classificados manualmente, cozidos num digestor com circulação sob condições semelhantes às ITC (ISO-Thermal Cooking) da fábrica. Os números kappa após o cozimento, de 14,3 e 18,2, foram obtidos mediante a seleção de uma adequada combinação de tempo, temperatura e teor de álcali durante o cozimento. Os níveis de álcali residual foram os mesmos (cerca de 7 g/L como NaOH), independentemente do número kappa do cozimento.

### • Equipamento e procedimentos, pré-branqueamento O<sub>2</sub> e branqueamento D(EOP)D

O equipamentos e os procedimentos-padrão praticados no laboratório da Eka Chemicals para pré-branqueamento O<sub>2</sub> e branqueamento D(EOP)D<sub>n</sub>D estão descritos em outra parte (11, 12).

### • Condições do pré-branqueamento O<sub>2</sub>

As polpas lavadas, com números kappa de 14,3 e 18,2, foram pré-branqueadas com O<sub>2</sub> aplicando-se condições que causaram redução de 35% no número kappa a pH final de cerca de 11,5. As condições utilizadas para a polpa com kappa de 14,3 foram de 60 min, 110 °C e 13 kg de NaOH/t de polpa, enquanto aquelas para kappa de 18,2 foram de 50 min, 107°C e 19 kg NaOH/ t de polpa. Em todos os casos, a pressão parcial do O<sub>2</sub> foi de 0,5 MPa e houve adição de 0,5 kg de Mg<sup>2+</sup>.

### • Condições do branqueamento D(EOP)D<sub>n</sub>D

Para ambas as polpas, a carga de peróxido no estágio (EOP) foi de 3 kg/t. Para celulose com número

kappa do pré-branqueamento O<sub>2</sub> de 9,6, as cargas de dióxido de cloro (cloro ativo) nos estágios D<sub>0</sub>, D<sub>1</sub> e D<sub>2</sub> foram de 14, 4 e 2 kg/t de polpa. Para a massa com número kappa do pré-branqueamento O<sub>2</sub> de 11,6, as cargas foram de 17, 8 e 3 kg/t de polpa, respectivamente.

### • Análises

Alvura da polpa, número kappa, viscosidade e AOX nos efluentes foram determinados pela utilização de normas-padrão da Scan. Os níveis de DQO nos efluentes foram determinados conforme método do Dr. Lange. Para a determinação da reversão de alvura induzida por calor, foi utilizada norma-padrão Tappi. As propriedades da polpa, o conteúdo de ácidos hexenurônicos (HexA) e a composição do carboidrato das polpas foram determinados na STFI – Suécia – com a utilização de métodos Scan e ISO, bem como de padrões internos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Resultados de laboratório

Em termos gerais, o cozimento com número kappa mais alto fornece maior rendimento de polpa, que pode, portanto, ser um meio para economia de madeira. Além disso, maior rendimento de polpa após o cozimento significa presença de menos sólidos secos para a caldeira de recuperação e, conseqüentemente, maior produção de polpa caso a intenção seja operar a caldeira de recuperação a plena carga. A Tabela I mostra que o aumento de rendimento de cerca de 1,5% associado à elevação do número kappa após cozimento de 14 para 18 é retido com aproximadamente esse valor durante o pré-branqueamento O<sub>2</sub> (redução do número kappa de 35%) e também durante a seqüência de branqueamento D(EOP)D<sub>n</sub>D para alvura ISO de aproximadamente 90%.

	Número kappa		Designificação O <sub>2</sub>		Branqueamento ECF	
	14,3	18,2	9,6	11,6	n.d.	n.d.
Rendimento total (%)	52,0	53,5	50,4	52,3	50,0	51,0
HexA (µmol/g)	83	77	76	74	28	<5
Hemicelulose (rel. %)	19,5	20,5	19,0	19,9	17,1	18,0
Carga da fibra (µeq/g)	154	180	154	178	116	121

n.d. = não determinado

**Tabela I. Rendimento da polpa e propriedades ao longo da linha de fibras.**

Número kappa do cozimento	14,3	18,2
Número kappa do pré-branqueamento O <sub>2</sub>	9,6	11,6
Alvura (% ISO)	90,5	90,2
Alvura reversível (% unid. ISO)	3,2	2,1
Viscosidade (dm <sup>3</sup> /kg)	1069	1161
Consumo ClO <sub>2</sub> total (Cl ativo - kg/t)	20	28

**Tabela II. Propriedades básicas da polpa após branqueamento e consumo de ClO<sub>2</sub>.**

Esse aumento de rendimento corresponde a um conteúdo superior de hemicelulose (principalmente xilanas), o que confere carga mais alta às fibras. Pode-se também constatar que a polpa com número kappa pós-cozimento mais alto contém menos ácidos hexenurônicos (HexA), algo particularmente relevante após o branqueamento, no qual a polpa que entra com o maior número kappa exibe teor de HexA muito baixo.

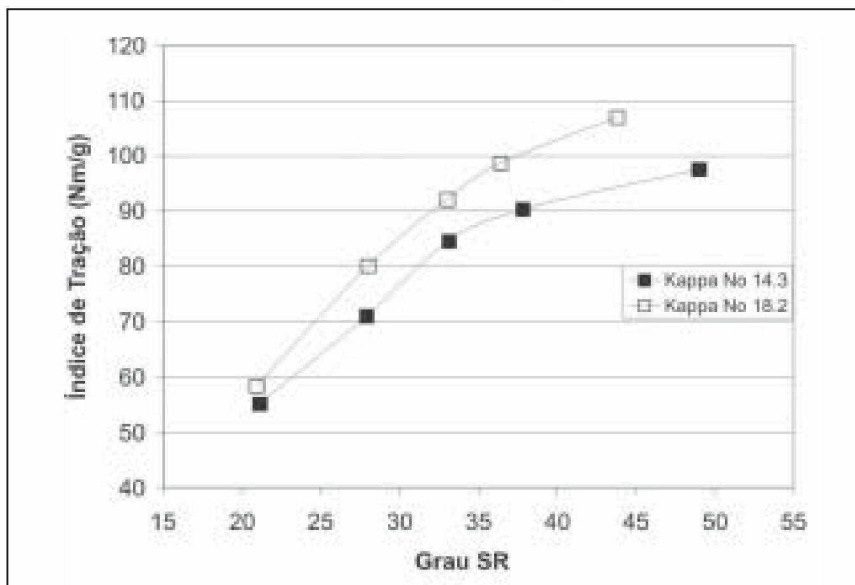
A Tabela II mostra algumas propriedades básicas da polpa e o consumo de dióxido de cloro (como cloro ativo) quando polpas pré-branqueadas com números kappa de 9,6 e 11,6 foram alvejadas até alvura final de aproximadamente 90% ISO. A polpa do estágio O<sub>2</sub> de kappa mais alto indicou viscosidade superior e reversão de alvura significativamente menor. A menor reversão de alvura pode ser relacionada, pelo menos em parte, ao teor muito baixo

de HexA da polpa, ao mesmo tempo em que a maior reversão de alvura da polpa branqueada cozida e pré-branqueada por O<sub>2</sub> a número kappa mais baixo pode ser relacionada a seu alto teor de HexA, que, por sua vez, é conseqüente da menor carga do ClO<sub>2</sub> necessário para alcançar o objetivo final de alvura (Tabela I). Tem sido recentemente demonstrado que o ClO<sub>2</sub> é ferramenta eficiente e seletiva na remoção de HexA das polpas, não somente por meio de hidrólise ácida, mas, também, por uma ação oxidante (13).

É de se esperar que a polpa alvejada com maior teor de hemicelulose (número kappa do cozimento mais alto) seja de refino mais fácil e que, para determinado grau SR, exiba índice de tração mais alto (2, 4, 6 - 8, 14). A Figura 1 demonstra que isso realmente aconteceu com essa celulose de eucalipto.

Os resultados da Tabela III, que indicam propriedades da polpa com índice de tração de 70 Nm/g, revelam que o índice de rasgo resulta ligeiramente melhorado, enquanto algumas outras características, como opacidade, densidade e coeficiente de dispersão da luz, são fortemente afetadas pelas alterações nos números kappa do cozimento e do pré-branqueamento O<sub>2</sub>.

A Tabela IV mostra que os níveis de AOX e DQO no efluente do branqueamento aumentam com a elevação do número kappa do cozimento. A redução obtida mediante o tratamento do efluente pode variar consideravelmente, a depender do tipo de polpa de eucalipto, do equipamento disponível e da composição química do efluente do branqueamento (15). Os valores estimados depois de tratamento externo, como indicado na Tabela IV, foram calculados aplicando-se valores máximos de redução de 80% para AOX e de 70% para DQO, como reportado na literatura (16).



**Figura 1. Índice de tração vs °SR para polpas com diferentes números kappa de cozimento.**

Número kappa do cozimento	14,3	18,2
Número kappa do pré-branqueamento O <sub>2</sub>	9,6	11,6
Número de rotações de refino	500	250
Índice de rasgo (mNm <sup>2</sup> /g)	10	11
Volume (bulk - dm <sup>3</sup> /kg)	1,41	1,40
Opacidade (%)	72,7	73,4
Coefficiente de dispersão da luz (kg/m <sup>2</sup> )	32	32
Permeância ao ar (μ/mPa s)	21	23

**Tabela III. Propriedades de polpas alvejadas depois de refinadas até índice de tração de 70 Nm/g.**

Número kappa do cozimento	14,3	18,2
Número kappa do pré-branqueamento O <sub>2</sub>	9,6	11,6
AOX no branqueamento (kg/t)	0,40	0,65
Níveis estimados de AOX após tratamento do efluente (kg/t)	0,08	0,11
DQO no branqueamento (kg/t)	16,2	23,7
Níveis estimados de DQO após tratamento do efluente (kg/t)	4,8	7,1

**Tabela IV. Níveis de AOX e de DQO nos efluentes do branqueamento total.**

Número kappa após cozimento	12	16	20
Carga de álcali na madeira seca (% NaOH - AE)	19,4	18,8	16,0
Rendimento total do cozimento (%)	51,3	53,5	55,1
Sólidos secos para a recuperação (t/d)	1.999	2.000	1.999
Sólidos secos para a recuperação (t/t polpa s.estufa)	1,67	1,34	1,23
Produção de polpa (t de polpa s.estufa/dia)	1.198	1.497	1.626

**Tabela V. Dados do processo simulado, produção de polpa e sólidos secos para a recuperação a diferentes números kappa de cozimento.**

Número kappa após cozimento	12	16	20
Sólidos secos para a recuperação (kg/h)	83.294	83.335	83.295
Valor calorífico determinado por bomba calorimétrica (Mcal/kg)	3.583	4.040	4.188
Produção total de calor (Gcal/h)	298	337	349
Consumo de vapor - 3 bar (t/h)	104	112	113
Consumo de vapor - 3,5 bar (t/h)	17	22	24
Consumo de vapor - 7 bar (t/h)	60	74	79

**Tabela VI. Valor calorífico do licor negro determinado por bomba calorimétrica, produção de energia térmica e consumos de vapor para diferentes níveis de números kappa (Modern Eucalyptus Pulp Mill).**

Ainda que o aumento estimado depois do tratamento externo possa ser considerado bastante pequeno e normalmente administrável, a

Eka Chemicals está dedicando forte empenho científico na melhoria do tratamento biológico desses efluentes de kappa alto.

## RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Rendimento mais alto de polpa após cozimento significa menos sólidos secos para a caldeira de recuperação. Resultados de simulação com polpas escandinavas de coníferas (4) indicam que, em regime constante de produção de polpa (aumento de rendimento em polpa é contrabalançado por menor alimentação de cavacos), cozimento a número kappa mais alto significa menor necessidade de licor branco para a polpação, algo que resulta em menor fluxo de licor negro para os evaporadores, menor carga de sólidos para a caldeira de recuperação e, conseqüentemente, apreciável diminuição de produção de energia nesta planta.

Em nossa abordagem, os benefícios de uma polpa com rendimento mais alto foram utilizados para aumentar o índice de produção, ao mesmo tempo em que a caldeira é operada a plena carga. A ferramenta utilizada na simulação foi o Sistema de Simulação PulpSim desenvolvido por Gulichsen (17).

A Tabela V apresenta os resultados da simulação obtidos numa fábrica imaginária de polpa de eucalipto. Por não haver disponibilidade de fábrica apropriada a servir de referência, os dados de processo iniciais relevantes foram tomados da literatura (2, 6, 18 – 19).

A Tabela V demonstra que aumento do número kappa no cozimento leva a menos licor branco de polpação, maior rendimento de polpa e menor concentração de sólidos secos para a recuperação. Para a plena carga da caldeira de recuperação (2.000 t/d de sólidos secos), a produção de polpa pode ser substancialmente incrementada. O aumento potencial de produção de uma fábrica de polpa de eucalipto que elevar o número kappa de cozimento em quatro unidades se situa acima de 10%, ou seja, a produção resulta

muito maior que o simulado e parcialmente verificado para uma fábrica de polpa de coníferas (8).

Se o número kappa do cozimento e a produção de polpa forem aumentados, tanto o valor calorífico determinado por bomba calorimétrica como a produção total de calor aumentam, como demonstrado na Tabela VI. Por outro lado, mais produção na linha de fibras significa mais consumo de vapor nas fases de cozimento, branqueamento e secagem.

Assim, como no aumento de produção “real”, o balanço de energia deve ser avaliado especificamente para cada fábrica, tomando-se em consideração as condições da planta e o equipamento disponível. Outros parâmetros próprios da produção e de difícil simulação, tais como teor de rejeitos, por exemplo, devem ser incluídos, especialmente quando cogitadas madeiras de folhosas.

Todavia, os resultados das Tabelas V e VI indicam que há potencial para o melhoramento do desempenho de uma fábrica de polpa de eucalipto mediante a otimização dos números kappa após o cozimento e o pré-branqueamento  $O_2$  – já provado em uma fábrica de polpa de conífera durante período superior a um ano (8).

## CONCLUSÕES

- O cozimento de cavacos de eucaliptos (*Eucalyptus grandis*/*E.saligna*) a um número kappa mais alto irá fornecer, após pré-branqueamento  $O_2$  e seqüência de branqueamento D(EOP)DnD até alvura ISO de 90%, maior rendimento e melhores propriedades de resistência da polpa.

- Os resultados da simulação indicam que há potencial significativo – aumento superior a 10% – para elevar a produção de fábrica de polpa de eucalipto, desde que o número kappa seja aumentado em cerca de quatro unidades.

- Um número kappa mais alto antes do branqueamento irá levar a maiores custos em químicos de branqueamento e a níveis mais altos de DQO e AOX nos efluentes do branqueamento, antes do tratamento do efluente.

## AGRADECIMENTO

Manifestamos nossos agradecimentos à Stora Enso Research Laboratory de Karlstadt (Suécia) pela realização dos cozimentos experimentais e ao Prof. Panu Tikka, do Laboratório da Universidade/SciTech de Helsinque (Finlândia), pelas simulações. Agradecemos ainda ao Dr. Anthony Bristow a revisão redacional do manuscrito.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DENCE C W, REEVE D W EDS. (1996): Pulp bleaching- principles and practice Atlanta, GA, USA: Tappi Press, p.38
2. COLODETTE J L, GOMIDE J L, GIRARD R, JÄÄSKELÄINEN A-S, ARGYROPOULOS D S, (2002): Tappi Journal, Vol.1, No.1 p.14-19
3. LINDBLAD P, LINDSTRÖM L-Å (1984): Svensk Papperstidning Vol.87, No.13, p.12-15
4. GULLICHSEN J, ISOTALO I, POUKKA, O (1999): Pap.Puu 81(4): 316
5. COLODETTE, J L, GOMIDE J L, SALLES D V, DE BRITO A CH (1995) Tappi Pulp.Conf.Proceedings p.405, 1-5 Oct. Chicago, USA
6. LANNA A E, COSTA M M, FONSECA M J, FONSECA S M, COLODETTE J L, GOMIDE J L, (2002) Appita 55(6):439-443
7. SALVADOR E, JANESH EF, (2005) IPBC preprints, p.61, June 14-16, Stockholm, Sweden

8. JOHANSSON B, AGGARWAL P, HEDLUND-BJÖRNWALL T, BASTA J, FORSSTRÖM A, (2005): IPBC Preprints, p.81, June 14-16, Stockholm, Sweden

9. HARTP, CONNELL D (2003): Tappi Fall Technical Conf. Proceedings, p.11, Chicago, 26-30 Oct.

10. K. PATRICK ED.: Paper Age, March/April 2005, p.34-37

11. BASTA J, WÄNE G, MEULLER L, HERSTAD-SVÄRD S, BIRATH L, (1995): 28<sup>th</sup> ABTCP Meeting, November, São Paulo, Brazil, p.19

12. BJÖRKLUND M, GERMGÅRD U, JOUR P, FORSSTRÖM A, (2003): Appita Journal 56(3):200-205

13. FORSSTRÖM A, GELLERSTEDT G, JOUR P, JIEBING LI (2005): IPBC Preprints, p.309, June 14-16, Stockholm, Sweden

14. SALOMAO K G, GOMIDE J L, COLODETTE J L, KOGAN J, JÄÄSKELÄINEN A-S, ARGYROPOULOS D S, (2005) 33<sup>rd</sup> ABTCP Meeting, Proceedings p.8, 23-26 Oct. São Paulo, Brazil

15. MOUNTEER A H, COLODETTE J L, SILVA D O, (2002): Tappi Journal Vol.1, No.2, p.26-31

16. BASTA J, WÄNE G, HERSTAD-SVÄRD S, (1996): 29<sup>th</sup> ABTCP Meeting, November, São Paulo, Brazil, p.155-161

17. A R H I P P A I N E N , GULLICHSEN&CO: www.agco.fi

18. GULLICHSEN J, (2000): Papermaking Science and Technology, Book 6<sup>a</sup>, Chemical Pulping, ISBN 952-5216-06-3

19. COLODETTE J L, GOMIDE J L, ROBLES Y A, ALMEIDA J M, DE BRITO A CH, MEHLMAN S K, ARGYROPOULOS D S, (1998): IPBC Proceedings p.61, June 1-5, Helsinki, Finland