

FATOR H - Parâmetro válido para polpação de eucalipto ?

S. Bugajer

R. Cahen

A. F. Lima

M. R. R. Pinho

▲ Celso Foelkel

Centro Técnico em Celulose e Papel
Instituto de Pesquisas Tecnológicas
do Estado de São Paulo S/A

RESUMO

O fator H desenvolvido para "spruce", tem sido utilizado pelas indústrias brasileiras produtoras de pasta celulósica de eucalipto para controle de seus cozimentos.

Este estudo mostra que para eucalipto, o fator H deve ser usado com certas restrições, pois sendo relativamente pequeno, sofre uma grande influência do tempo de cozimento. Quando se usa diferentes composições de tempo e temperatura, mantendo-se fixas as demais condições, ocorre uma variação no rendimento de purado e número Kappa das pastas obtidas.

ABSTRACT

The H-factor was developed for spruce, but it has been used by the Brazilian Pulp Mills to control their pulping process to produce eucalyptus kraft pulp.

This study shows that for eucalyptus some care has to be taken in using the H-factor, due to the fact that it is relatively small, and it is greatly influenced by the pulping time. When different compositions of time and temperature are being used, and the other conditions are maintained the same the screened yield and the Kappa number of the pulp obtained vary.

INTRODUÇÃO

O fator H foi desenvolvido por Vroom (1,2) em 1957, e desde então tem sido utilizado pelas indústrias de pasta celulósica.

O fator H é uma variável que relaciona o tempo e a temperatura de cozimento. O seu valor representa a área sob a curva obtida pela velocidade relativa de reação de deslignificação em função do tempo. Para o cálculo do fator H, utilizam-se valores de velocidades relativas obtidos para "spruce" (1,2), pois o valor da energia de ativação para a reação de deslignificação, que é utilizada no cálculo da velocidade relativa, foi obtido através de experiências com spruce (3).

A indústria brasileira, apesar de utilizar principalmente eucalipto como matéria prima para fabricação de pasta celulósica, tem utilizado o fator H para controle de seus cozimentos.

Leon (4) e Pacini (5) em seus trabalhos indicaram que o limite da reação de deslignificação, para Eucalyptus saligna de 6 anos é atingido com um fator H de aproximadamente 700.

O fator H utilizado para o eucalipto é cerca de 30 - 50 % menor que o utilizado para coníferas.

Este trabalho foi desenvolvido para que pudéssemos averiguar a aplicabilidade do fator H a polpação de eucalipto utilizando-se valores de velocidade relativa de reação, desenvolvidos para coníferas; além de verificar o efeito da utilização de pequenos valores de fator H para polpação de eucalipto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram efetuados cozimentos utilizando-se um fator H de 600, mantendo-se constantes o álcali ativo, a sulfidez e a relação licor - madeira, e variando-se em três níveis a temperatura máxima de cozimento, 160°C, 165°C e 170°C. As condições utilizadas e os resultados obtidos encontram-se na tabela 1.

Para cada nível de temperatura máxima, foram repetidos o mínimo de três cozimentos, tirando-se depois a média dos resultados obtidos para estes e calculou-se o desvio padrão e o coeficiente de variação de Pearson. Os valores obtidos estão na tabela 2.

O controle de temperatura do digestor utilizado é manual, assim como o controle de tempo, portanto justifica-se uma pequena variação no fator H. Como podemos verificar na tabela 2 esta variação é bastante pequena, ou seja menor que 0,8%.

Os valores de rendimentos depurado e total e número Kappa, para cada nível de temperatura apresentaram pequena variação entre as repetições, o que indica uma boa repetitividade na execução dos cozimentos.

Comparando os valores obtidos para os três níveis de temperatura máxima, e que se encontram representados graficamente na figura 1, podemos dizer que:

. O rendimento total pode ser considerado praticamente constante, e em torno de 55%, visto que aumenta somente 0,5% com o aumento da temperatura. A reta que descreve o comportamento do rendimento total em função da temperatura de cozimento para um fator H de 600 e um intervalo de temperatura máxima de 160-170°C é a seguinte:

$$RT = 49,452 + 0,035 t \quad \text{com } r = 0,978$$

. O rendimento depurado diminui acentuadamente, cerca de 5%, com o aumento da temperatura máxima, ou seja, o teor de rejeitos aumenta. No caso dos cozimentos a 160°C de temperatura máxima, o tempo total do cozimento foi de 190 minutos, enquanto que nos cozimentos efetuados a 170°C de temperatura máxima, o tempo total foi de 110 minutos. Portanto, nos cozimentos a 170°C o tempo não foi suficiente para que houvesse penetração e difusão do licor de cozimento nos cavacos e para as reações de deslignificação ocorrerem até o mesmo grau que nos cozimentos a 160°C, mais pro

longados. A reta que descreve o comportamento do rendimento depurado para um fator H de 600 e um intervalo de temperatura máxima de cozimento de 160-170°C é a seguinte:

$$RD = 127,035 - 0,475 t \quad \text{com } r = 0,986$$

O número Kappa aumenta cerca de 2 pontos com o aumento da temperatura máxima. Isto significa que a pasta celulósica obtida com a temperatura de 170°C possui um teor de lignina residual mais elevado que a pasta celulósica obtida com a temperatura de 160°C, portanto o tempo de cozimento da primeira não foi suficiente para atingir o mesmo grau de deslignificação. A equação que descreve o comportamento do número Kappa em função da temperatura de cozimento para um fator H de 600 e um intervalo de temperatura máxima de 160-170°C é a seguinte:

$$NK = -10,760 + 0,208 t \quad \text{com } r = 0,958$$

Para verificar-se se os fatos acima observados repetiam-se com a utilização de um fator H diferente de 600, foram efetuados cozimentos utilizando-se um fator H de 700, mantendo-se constantes o álcali ativo, a sulfidez e a relação licor-madeira e variando-se a temperatura máxima de cozimento dentro de um mesmo intervalo (160°C, 165°C e 170°C). As condições utilizadas e os resultados obtidos encontram-se na tabela 3.

Neste caso, para cada um dos níveis de temperatura máxima, foram repetidos o mínimo de quatro cozimentos, obtendo-se a média dos resultados para estes cozimentos, e calculou-se o desvio padrão e o coeficiente de variação de Pearson. A tabela 4 contém os valores obtidos.

Nesta etapa da experiência, o fator H variou mais do que no caso anterior, cerca de 2,3%, sendo mesmo assim bastante pequena a variação visto que os controles de temperatura e tempo são manuais, e portanto dependem do operador.

Neste caso também tivemos uma boa repetitividade na execução dos cozimentos, ou seja, os rendimentos depurado e total e o número Kappa para cada nível de temperatura apresentaram uma pequena variação entre repetições. Somente o rendimento depurado dos cozimentos efetuados a 170°C apresentou uma variação um pouco mais elevada, 5,5%, comparada com as demais.

Comparando-se os valores obtidos nesta etapa da experiência, para os três níveis de temperatura máxima, e que se encontram representados graficamente na figura 2, podemos dizer que:

. O rendimento total pode ser considerado praticamente constante, visto que aumenta somente 0,5% com o aumento da temperatura de 160°C para 170°C. O rendimento total é da ordem de 53%. O modelo matemático que define a variação do rendimento total em função da temperatura de cozimento, para um fator H de 700 e o intervalo de temperatura máxima estudado é o seguinte:

$$RT = 46,262 + 0,043 t \quad \text{com } r = 0,659$$

. O rendimento depurado diminui em cerca de 2%, com o aumento da temperatura máxima. Neste caso, sendo o fator H mais elevado, o tempo total de cozimento é maior para as mesmas temperaturas, por isto a diferença entre os teores de rejeitos obtidos nos cozimentos a 160°C e 170°C é menor que no caso anterior, onde o fator H foi de 600. O modelo matemático que define o rendimento depurado em função da temperatura de cozimento, para um fator H de 700 e o intervalo de temperatura máxima de 160-170°C é o seguinte:

$$RD = 82,45 + 0,20 t \quad \text{com } r = 0,991$$

. O número Kappa aumenta cerca de 1 ponto com o aumento da temperatura máxima. A equação que exprime o número Kappa em função da temperatura de cozimento, para um fator H de 700 e o intervalo estudado é:

$$NK = 13,598 + 0,057 t \quad \text{com } r = 0,994$$

Podemos concluir que os fatos observados ocorrem nos dois casos, sendo porém mais acentuados quando se usa um fator H de 600, onde os tempos de cozimento são mais curtos.

Na tabela 5 encontram-se as condições e resultados de três cozimentos efetuados a uma temperatura de 165°C e com um fator H de 800. Obtivemos uma boa repetitividade nos experimentos.

A tabela 6 e a figura 3, apresentam os resultados dos cozimentos obtidos a 165°C de temperatura máxima, variando-se o fator H de 600-800. Podemos observar o seguinte:

. O rendimento depurado mantém-se praticamente constante, e em torno de 49,3%. O modelo matemático que exprime o rendimento depurado em função do fator H, para uma temperatura de cozimento de 165°C é:

$$RD = 48,415 + 0,0012 FH \quad \text{com } r = 0,984$$

. O rendimento total diminui em cerca de 3% com o aumen

to do fator H de 600 para 800. Aumentando-se o fator H e mantendo-se a temperatura de cozimento, aumentamos o tempo e com isto favorecemos uma maior deslignificação da madeira, aumentando o teor de material dissolvido. A equação que exprime a variação do rendimento total em função do fator H, para uma temperatura de 165°C é:

$$RT = 64,078 - 0,0147 FH \quad \text{com } r = 1,000$$

O número Kappa diminui em cerca de 2,5 pontos quando o fator H aumenta de 600 para 800. Isto significa que a pasta celulósica obtida com um tempo de cozimento mais prolongado contém um menor teor de lignina residual. A reta que define a variação do número Kappa em função do fator H, para uma temperatura de cozimento de 165°C é a seguinte:

$$NK = 31,0407 - 0,0124 FH \quad \text{com } r = 0,867$$

O coeficiente de correlação obtido é um pouco baixo, indicando que ocorre uma dispersão dos valores experimentais do número Kappa para o modelo apresentado. O número Kappa indica o teor de lignina residual na pasta celulósica. Como a lignina de eucalipto é bastante complexa, é muito difícil que ela esteja na pasta sempre da mesma forma, por isto ocorrem variações no número Kappa. Isto está de acordo, com observações feitas por Hatton(6): o número Kappa é uma função do fator H, porém no caso de folhosas deve ser usado com restrições devido a grande variação de sua composição química.

Tabela 2. Variação das características de cozimento em função da temperatura máxima - fator H 600

Temperatura máxima (°C)	160	165	170
Fator H			
\bar{x}	598,75	600,33	600,60
s	2,37	1,55	4,83
cv	0,40	0,26	0,80
Rendimento depurado (%)			
\bar{x}	50,80	49,13	46,05
s	0,61	0,06	1,10
cv	1,20	0,12	2,39
Rendimento total (%)			
\bar{x}	55,03	55,27	55,38
s	0,21	0,75	1,85
cv	0,38	1,36	3,34
Número Kappa			
\bar{x}	22,70	23,20	24,78
s	0,52	0,17	0,30
cv	2,29	0,73	1,21

\bar{x} = média

s = desvio padrão

cv = $(s/\bar{x})100$ = coeficiente de variação de Pearson

Tabela 3. Cozimentos com fator H 700

Temperatura máxima (°C)	160	160	160	160	165	165	165	165	165	165	165	170	170	170	170	170
Tempo até a temp. máx. (min)	90	90	90	90	75	83	75	76	75	75	75	60	62	60	60	60
Tempo a temp. máx. (min)	87	85	85	87	52	55	50	50	50	48	50	31	30	23	25	25
Tempo total (min)	210	208	205	207	160	169	155	161	155	153	155	121	120	115	115	115
Fator H	700	716	703	697	731	736	705	697	702	700	699	713	691	685	703	703
Rendimento depurado (%)	49,9	50,8	50,8	50,6	48,5	48,8	49,5	-	49,7	50,0	-	50,8	50,8	47,0	45,5	45,5
Rendimento total (%)	53,1	52,5	53,9	52,5	53,3	54,1	53,2	-	53,2	54,4	-	52,5	53,9	53,8	53,5	53,5
Número Kappa	22,4	23,6	-	22,1	22,6	-	23,7	22,1	-	23,7	23,1	23,6	-	23,6	22,6	22,6
pH do licor negro	12,6	12,6	12,0	12,5	12,7	12,5	12,5	12,4	12,5	12,5	12,6	12,6	12,6	12,8	12,8	12,6

Tabela 4. Variação das características de cozimento em função da temperatura máxima - fator H 700

Temperatura máxima (°C)	160	165	170	
Fator H	\bar{x}	704,00	710,00	698,00
	s	8,37	16,31	12,50
	cv	1,19	2,30	1,79
Rendimento depurado (%)	\bar{x}	50,53	49,30	48,53
	s	0,43	0,63	2,70
	cv	0,85	1,28	5,56
Rendimento total (%)	\bar{x}	53,00	53,64	53,43
	s	0,66	0,57	0,64
	cv	1,25	1,06	1,20
Número Kappa	\bar{x}	22,70	23,04	23,27
	s	0,79	0,70	0,58
	cv	3,48	3,04	2,49

\bar{x} = média

s = desvio padrão

cv = $(s/\bar{x})100$ = coeficiente de variação de Pearson

Tabela 5. Cozimentos com fator H 800

Temperatura máxima (°C)	165	165	165
Tempo até a temp. máx. (min)	75	75	75
Tempo a temp. máx. (min)	58	60	62
Tempo total (min)	163	165	168
Fator H	802	801	799
Rendimento depurado (%)	49,7	49,0	49,4
Rendimento total (%)	52,3	52,5	52,2
Número Kappa	20,6	20,8	20,5
pH do licor negro	12,5	12,4	12,4

Tabela 6. Varição das características de cozimento em função do fator H para uma temperatura máxima de 165°C

Temperatura máxima (°C)	165	165	165
Fator H			
\bar{x}	600,33	710,00	800,67
s	1,55	16,31	1,55
cv	0,26	2,30	0,19
Rendimento depurado (%)			
\bar{x}	49,13	49,30	49,37
s	0,06	0,63	0,35
cv	0,12	1,28	0,71
Rendimento total (%)			
\bar{x}	55,27	53,64	52,33
s	0,75	0,54	0,15
cv	1,36	1,06	0,29
Número Kappa			
\bar{x}	23,20	23,04	20,63
s	0,17	0,70	0,15
cv	0,73	3,04	0,73

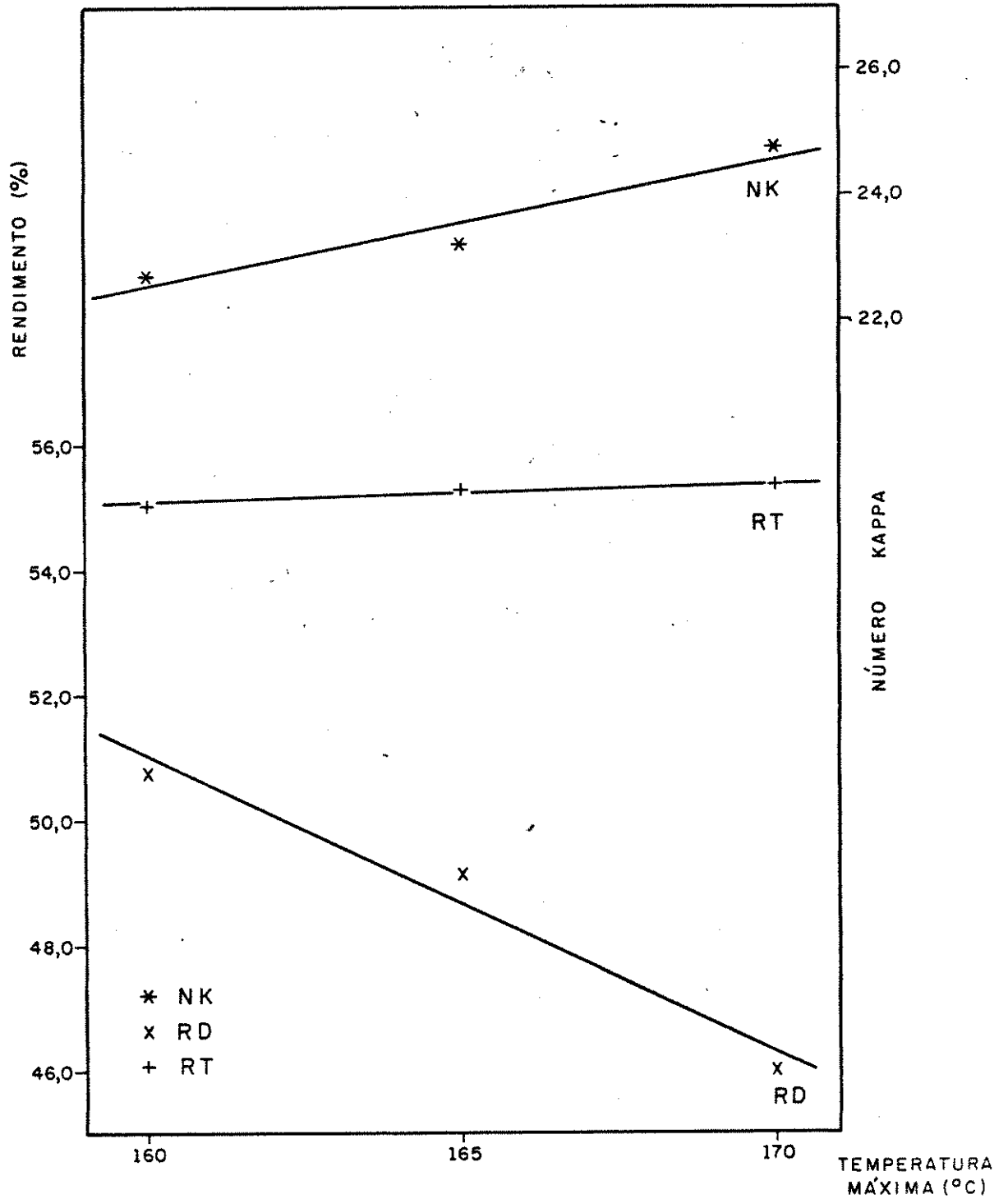
\bar{x} = média

s = desvio padrão

cv = $(s/\bar{x})100$ = coeficiente de variação de Pearson

FIGURA 1

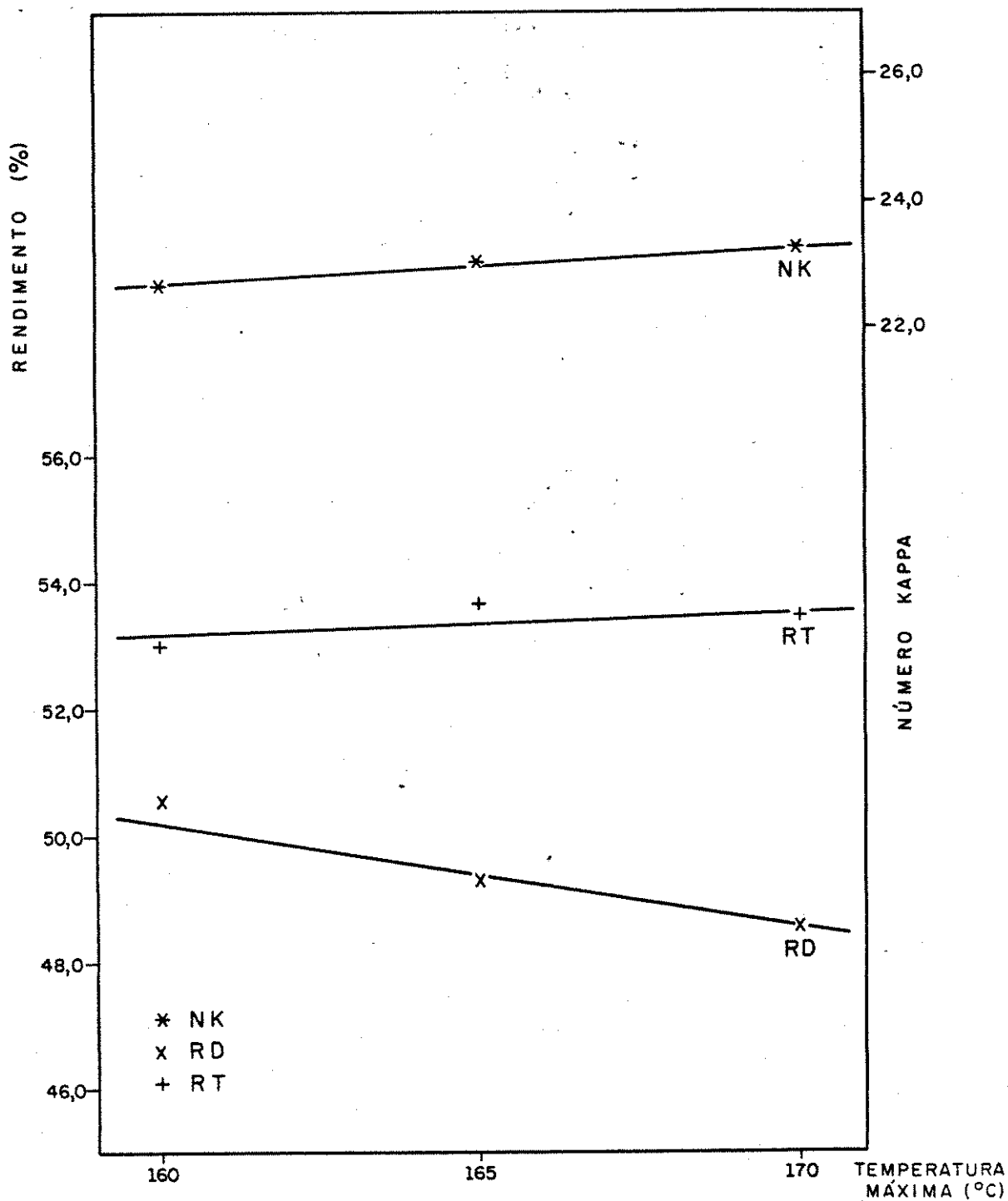
VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE COZIMENTO
EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA MÁXIMA
FATOR H 600



$NK = -10,760 + 0,208 t$ $r = 0,958$
 $RD = 127,035 - 0,475 t$ $r = 0,986$
 $RT = 49,452 + 0,035 t$ $r = 0,978$

FIGURA 2

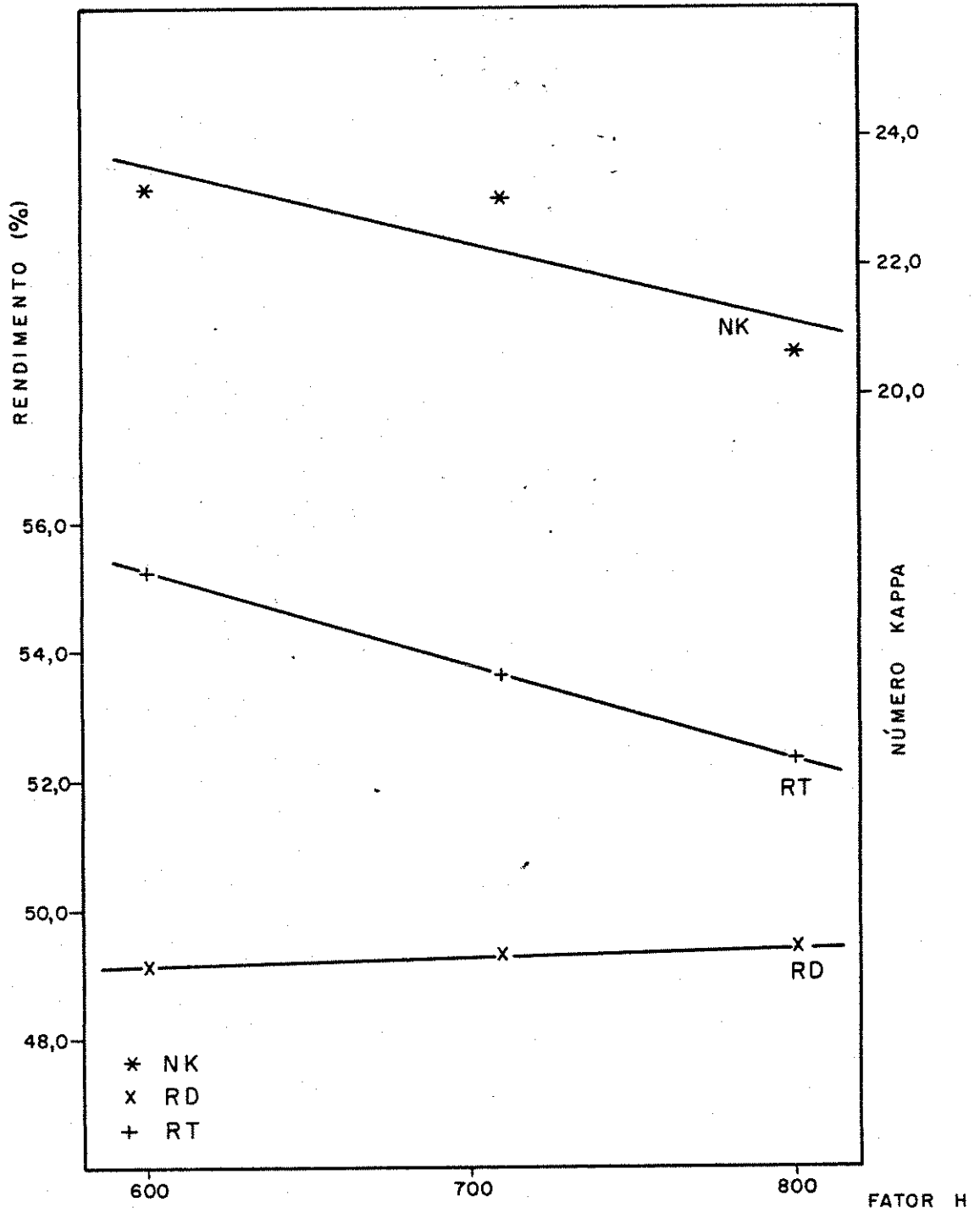
VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE COZIMENTO
EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA MÁXIMA
FATOR H 700



$NK = 13,598 + 0,057 t$	$r = 0,994$
$RD = 82,45 - 0,20 t$	$r = 0,991$
$RT = 46,262 + 0,043 t$	$r = 0,659$

FIGURA 3

VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE COZIMENTO
EM FUNÇÃO DO FATOR H
TEMPERATURA MÁXIMA - 165°C



$$\begin{aligned}
 \text{NK} &= 31,0407 - 0,0124 \text{ FH} & r &= 0,867 \\
 \text{RD} &= 48,415 + 0,0012 \text{ FH} & r &= 0,984 \\
 \text{RT} &= 64,078 - 0,0147 \text{ FH} & r &= 1,000
 \end{aligned}$$

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos podemos concluir que o tempo de cozimento para o eucalipto é uma variável muito importante, visto que é relativamente curto.

O fator H deve ser usado com certas restrições, pois para um mesmo fator H, usando-se composições de temperatura e tempo diferentes, o rendimento depurado e o número Kappa das pastas celulósicas obtidas variam. Isto ocorre mais acentuadamente no caso de um fator H baixo, onde os tempos de cozimento são curtos.

Variando-se o fator H de 600 para 800, para uma mesma temperatura de cozimento, obtemos a mesma quantidade de pasta celulósica, porém com um teor de lignina residual decrescente, e um teor de rejeitos decrescente.

PARTE EXPERIMENTAL

Para a realização dos ensaios foram utilizados cavacos de Eucalyptus saligna, com 6 anos de idade, picados industrialmente e classificados em peneira vibratória, do tipo Williams. A fração utilizada foi a retida entre as peneiras com furos de 7/8" e 3/8" de diâmetro.

O material foi cozido em digestor MK com circulação forçada de licor, aquecimento elétrico e capacidade de 6 litros. Após o cozimento a pasta foi lavada e depurada, usando-se uma peneira vibratória com ranhuras de 0,2mm de largura.

Foram mantidas constantes as seguintes condições de cozimento:

- . álcali ativo (em Na_2O): 14% em relação ao peso seco de madeira
- . sulfidez (em Na_2O): 25,3%
- . relação licor - madeira: 4/1

Foram estudados três níveis de fator H: 600, 700 e 800. Para os fatores H 600 e 700, foram estudados três níveis de temperatura máxima de cozimento: 160°C, 165°C e 170°C.

O fator H foi calculado utilizando-se os valores de velocidade relativa de reação de deslignificação apresentados por MacDonald (1).

Foram determinados:

- . Rendimento depurado
- . Rendimento total
- . Número Kappa da pasta depurada (norma ABCP C 5/69)
- . pH do licor negro após o cozimento

GLOSSÁRIO DE SIMBOLOS

- FH = fator H
NK = número Kappa
r = coeficiente de correlação
RD = rendimento depurado, em %
RT = rendimento total, em %
t = temperatura, em °C

BIBLIOGRAFIA CITADA

1. MacDonald, R.G. - Editor
Pulp and Paper Manufacture, Vol I
The Pulping of Wood, 1969
2. Vroom, K.E.
Pulp and Paper Magazine of Canadá
Convention Issue , 228 - 231 (1957)
3. Larocque, G.L.; Maass, O.
Canadian Journal of Research
Vol. 19, Sec. B, Nº 1 : 1-16 (Jan. 1941)
4. Leon, A.
Investigacion y Técnica del Papel
Tomo 14, Nº 54 : 1058-1065 (Out. 1977)
5. Pacini, P.
O Papel
Ano XXXIX : 35-40 (Jul. 1978)
6. Hatton, J.V.
Tappi
Vol. 59, Nº 8 : 48-50 (Ag. 1976)