

OS EFEITOS DA TECNOLOGIA E DA CAPACIDADE DA LINHA DE FIBRAS SOBRE O CONSUMO DE QUÍMICOS NO BRANQUEAMENTO - ESTUDO DE CASOS -

Edvins Ratnieks
Romeu Zanchin
Moacir Sauer
Celso Foelkel

Riocell S.A.
Guaíba, Brasil

Resumo

Foram investigadas fábricas com objetivos similares quanto a produto e qualidade, de modo a entender o comportamento de suas linhas de fibras. Esta estratégia possibilitou estudar a evolução dos digestores contínuos representados por quatro linhas de fibras estabelecidas no últimos trinta anos para produzir celulose de eucalipto. O objetivo foi entender o efeito do cozimento, da lavagem, e da planta de branqueamento sobre o consumo de reagentes de branqueamento. Existem padrões devidos à evolução tecnológica e devidos ao gerenciamento de fábrica que indicam como o consumo de reagentes no branqueamento de celulose variam.

Palavras-chave: branqueamento, eucalipto, digestão, kraft, tecnologia, consumo, reagentes, casos, modelo, computacional, celulose, lavagem, gerenciamento, ganhos

1. Introdução

A evolução de tecnologias de cozimento e branqueamento nas décadas recentes tem possibilitado a otimização substancial dos processos industriais com respeito ao consumo de reagentes químicos (1-2). É fácil encontrar casos de fábricas que discutem as mais recentes atualizações tecnológicas nos campos do cozimento kraft e branqueamento de celulose (3-4). Entretanto, há escassa informação pública sobre os efeitos evolucionários que estas tecnologias trazem para o gerenciamento de fábrica, e como estas fábricas gerenciam a capacidade de produção potencial liberada pelas atualizações tecnológicas.

Existem fábricas de diversas safras tecnológicas operando ao redor do mundo (5). Todas elas gerenciam sua tecnologia de processo com o objetivo de balancear a qualidade de produto com a capacidade produtiva e o lucro. Este trabalho examina uma amostra de linhas de fibras produzindo celulose de eucalipto de mercado. O objetivo é entender o efeito da tecnologia do cozimento, da lavagem e do branqueamento sobre o consumo de reagentes de branqueamento.

2. Objetivos

Como objetivo amplo, estabelecer o efeito evolucionário das atualizações tecnológicas sobre o consumo de reagentes químicos da planta de branqueamento, baseado em estudo de casos. Este objetivo inclui a discussão de causas possíveis que interferem no atingimento de resultados ótimos em cada caso estudado.

Como objetivo específico, quantificar o potencial de atualizações tecnológicas na área do digestor, lavagem de celulose não branqueada e no branqueamento, baseado nos casos extremos observados.

3. Experimental

Quatro linhas de fibras foram investigadas. O principal critério de seleção foi a tecnologia de cozimento kraft da linha de fibras amostrada. Os digestores selecionados representam uma

Trabalho apresentado no 31º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, realizado em São Paulo – SP – Brasil, de 19 a 23 de outubro de 1998.

evolução de 30 anos da tecnologia de digestores contínuos para produzir celulose de eucalipto. Eles estão identificados na Tabela 1.

Tabela 1. Identificação dos digestores contínuos em ordem cronológica crescente de instalação e de tecnologia de cozimento kraft.

Linha de fibras	Período de instalação	Tecnologia de cozimento
# 1	Anos 70 - início	Concorrente+Contra-Corrente (C+CC)
# 2	Anos 80 - final	Contra-Corrente Modificado (MCC)
# 3	Anos 90 - início	Contra-Corrente Modificado (MCC)
# 4	Anos 90 - meio	Isotérmico (ITC)

Todas as linhas de fibras estudadas tem plantas de deslignificação por oxigênio instaladas. As linhas de fibras #1, #2, e #3 estavam operando na capacidade de pico julgada aceitável pela gerência da fábrica na época da investigação. A linha de fibras #4 estava no final de sua curva de aprendizado, próxima a sua capacidade nominal. Estas linhas de fibras representam uma amostra da evolução do cozimento contínuo, dos anos 70 até o estado-da-arte.

Cada gerente de linha de fibras investigada preencheu um questionário acerca dos dados de projeto e de condições operacionais de sua linha de produção. Este foi um programa cooperativo entre as fábricas envolvidas. A Kvaerner Pulping – Brasil cooperou na análise dos dados de projeto e dados operacionais coletados, através do seu simulador proprietário, o Crossim 2, versão 1.31 (6-7). Deve-se reforçar que este trabalho estava avaliando a interação da evolução tecnológica e/ou métodos operacionais correntes.

Outra porção do trabalho incluiu amostragem. Todas as fábricas forneceram cavacos peneirados de madeira de eucalipto e amostras de celulose. A amostra do último lavador na área do digestor representava a celulose lavada e depurada do digestor. A amostra do último lavador da deslignificação por oxigênio representa a celulose pronta para ser branqueada. Estas amostras foram examinadas para os parâmetros convencionais que determinam a qualidade da celulose e a eficiência de lavagem de cada linha. A amostras prontas para branquear foram branqueadas no laboratório de acordo com a seqüência fixa (D70C30)EDED, com várias cargas de cloro ativo de modo a estabelecer as curvas de branqueamento. Os resultados foram interpolados para o consumo de cloro ativo para atingir uma alvura de 90,5 % ISO. Tal informação laboratorial informa a carga de reagentes de branqueamento necessária para branquear completamente as celuloses e o licor de lavagem industrial.

As análises de número kappa, viscosidade, demanda química de oxigênio (DQO) na celulose e filtrados da celulose foram determinados conforme os métodos específicos da ISO.

4. Resultados

Dos trabalhos preliminares no laboratório, não há evidência que a origem da madeira e as operação de produção de cavacos afetem o consumo geral de reagentes de branqueamento. Esta evidência vêm das celuloses produzidas em laboratório a partir de cavacos de madeira de eucalipto, em condições padronizadas de digestão e branqueamento. (dados não mostrados).

Tabela 2. Qualidade da celulose produzida em cada um dos digestores contínuos

Linha de Fibras	Viscosidade intrínseca v cm ³ /g	Número kappa médio k	Faixa de número kappa	Taxa v/k
# 1	1100	15.5	± 3	71
# 2	1150	15.5	± 2	74
# 3	1200	15.0	± 1	80
# 4	1350	17.0	± 1	79

A avaliação da qualidade das celuloses dos digestores industriais (Tabela 2) indica que cada fábrica está praticando um objetivo de número kappa de 15-16. A exceção é o digestor #4, que

intencionalmente está praticando um número kappa de 17. Há uma indicação direta que a seletividade na polpação (expressa pelos valores de viscosidade ou pela taxa viscosidade/kappa) tem melhorado com a tecnologia do digestor. Além do mais, este aumento da seletividade é acompanhado por um decréscimo na faixa de variação do número kappa. Esta faixa de número kappa é a variação estatística ao redor da média observada na operação diária destes digestores. Estes valores indicam que a tecnologia evolutiva e a precisão dos controles de processo (analisadores automáticos, controles digitais) tem contribuído para diminuir a heterogeneidade do cozimento kraft contínuo, especialmente na última década, indicada pelos digestores #3 e #4.

Tabela 3. Qualidade da celulose após a deslignificação por oxigênio

Linha de Fibras	Viscosidade intrínseca	Número kappa médio	Redução do número kappa	Taxa
	v_1 cm ³ /g	k_1	%	v/k v_1/k_1
# 1	950	10,5	- 32	90
# 2	1050	10,5	- 32	100
# 3	950	9,0	- 40	105
# 4	900	9,5	- 44	95

A mesma avaliação realizada para a qualidade das celulosas após a deslignificação por oxigênio e lavagem (Tabela 3) indica que esta etapa permite um efeito de "polimento" sobre a qualidade da celulose. É prática operacional comum controlar as variações de número kappa da celulose que entra ao reator. Esta prática resulta em um perfil de número kappa mais homogêneo na saída do reator, limitada pelos objetivos de viscosidade. Dos dados mostrados na Tabela 3, é possível compreender que a seletividade não é tão evidente e que a eficiência de deslignificação é melhor nas linhas de fibras mais modernas.

Tabela 4. Desempenho da lavagem de celulose após o digestor e após a deslignificação por oxigênio, baseada na carga de DQO nos licores da celulose.

Linha de Fibras	DQO nos licores da celulose			
	Após a lavagem do digestor		Após a lavagem da deslignificação	
	kg /tAD	mg/L	kg /tAD	mg/L
# 1	54	11	19	3
# 2	69	15	20	9
# 3	34	9	17	2
# 4	30	7	7	3

A carga de DQO nos licores das celulosas após a lavagem do digestor e da deslignificação com oxigênio (Tabela 4) demonstram um perfil geral decrescente das linhas de fibras mais antigas em relação às novas. A linha #2 opera equipamentos de lavagem característicos que explicam seu desvio da tendência descrita acima. As linhas #1-3 estavam operando em suas capacidades características. Somente a linha #4 estava operando na capacidade de produção de projeto. O problema típico de sobrecapacidade é uma carga maior de DQO nos licores para a planta de branqueamento. Alguns testes de estratégias de lavagem na linha #1 demonstraram que a faixa de carga de 12-18 kg DQO/tAD introduz uma demanda extra de 3-6 kg cloro ativo/tAD na planta de branqueamento. Esta comparação foi realizada entre uso de água limpa e lavagem com condensados contaminados.

Tabela 5. Desempenho do branqueamento de celulose na seqüência de laboratório (D70C30)EDED. Dados interpolados para alvura 90,5 % ISO. Fator kappa = 1,9 no estágio DC.

Linha de fibras	Cons. esp. de Cl ativo por unidade de nº kappa na entrada do branqueamento	Redução %
	kg Cl ativo/tAD.unidade kappa	
# 1	4.3	Referência
# 2	4.0	- 8
# 3	3.1	- 28
# 4	3.0	- 30

Nem sempre um sistema com sobrecarga de DQO introduz consumo extra de reagentes de branqueamento. Como pode ser visto na Tabela 5, a linha de fibras #3 não produz uma suspensão de celulose que consome mais reagentes de branqueamento, comparado com a linha #4. Na linha #3 parece que o sistema de lavagem está liberando sólidos dissolvidos que não afetam o branqueamento da celulose. Da entrevista com a gerência desta fábrica, cabe constar que não relatam efeito do condensado de lavagem sobre o desempenho da planta de branqueamento. A Tabela 5 informa a carga otimizada de cloro ativo devida ao branqueamento das fibras e dos sólidos dissolvidos arrastados após lavagem da celulose na entrada do branqueamento. Os efeitos de mistura de reagentes e de ineficiências de lavagem de cada planta industrial de branqueamento avaliadas foram isolados através desta estratégia laboratorial. A avaliação do consumo específico de reagentes por número kappa unitário permite afirmar que existem mais efeitos envolvidos que a sobrecarga de sólidos dissolvidos arrastados com a celulose ao branqueamento. Uma comparação com base no pior com o melhor casos (#1 versus #4) mostra uma diferença de 1,3 kg Cl ativo/tAD.unidade de kappa. Como citado anteriormente, a linha #1 só pode atribuir um máximo de 0,6 kg Cl ativo/tAD.unidade de kappa à sobrecarga de lavagem da celulose que entra no branqueamento. O consumo restante deve ser atribuído à qualidade intrínseca da celulose kraft produzida naquela linha de fibras.

5. Discussão

5.1. Projeto e operação do digestor

Este trabalho pretende discutir os efeitos evolucionários dos digestores contínuos analisados sobre o consumo de reagentes de branqueamento. Dos dados coletados, é evidente que a atualização tecnológica gera benefícios que podem ser deduzidos indiretamente, como este trabalho fez possível.

Tabela 6. Critérios de projeto para os digestores estudados

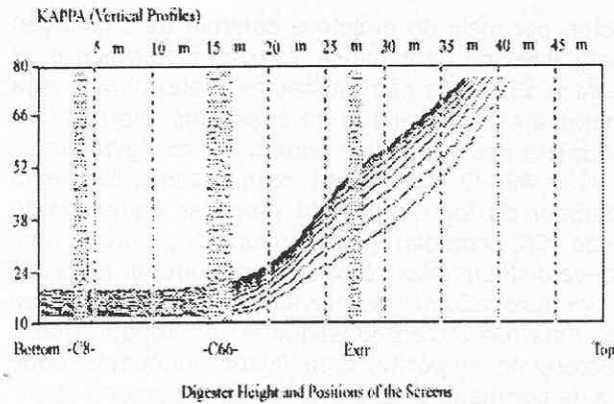
Linha de fibras	Fluxos de circulação de licor (m ³ /tAD celulose)				Produção por área transversal do digestor*	
	circulação** identificação da peneira**	trim C6	extr extr	cook C66		wash C8
# 1		0	8.5	9.5	5.0	49.5
# 2		4.0	8.0	8.0	3.0	41.5
# 3		5.0	7.0	5.0	1.0	40.0
# 4		6.0	9.5	9.5	9.5	26.5

* Área transversal do digestor na região de lavagem

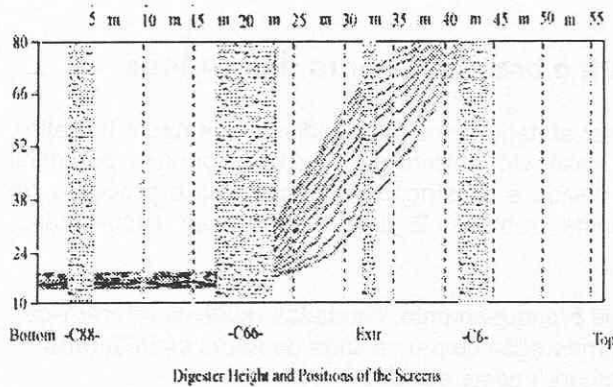
** Nomes de circulações e identificação de peneiras de acordo com a nomenclatura da Kvaerner Pulping para designar a função de cada circulação.

A tabela 6 sumariza os critérios de projeto dos digestores estudados. A evolução tecnológica da digestão contínua tem melhorado a circulação de licores e a carga sobre o reator. A taxa de aplicação de celulose por área transversal do digestor diminuiu significativamente. Isto significa que os digestores tornaram-se maiores. As cargas volumétricas para as circulações eram inicialmente altas (digestor #1). Com o passar dos anos, estas cargas para as peneiras foram gradualmente sendo diminuídas e distribuídas mais uniformemente para adaptar o conceito MCC. Então, com o advento do processo ITC, estas cargas nas circulações foram aumentadas novamente com uma mudança significativa na área transversal dos digestores, representado pelo digestor da linha #4 (1,5).

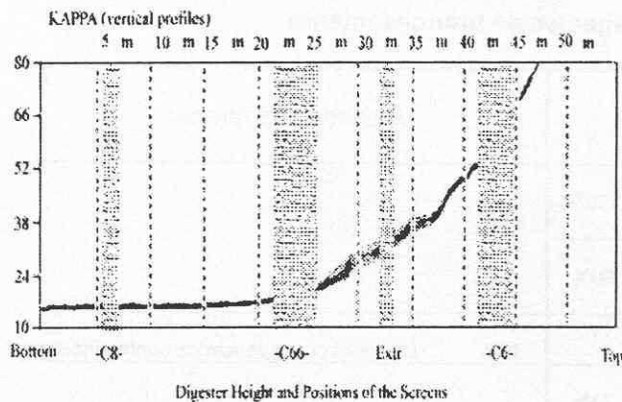
Um ponto de discussão importante é o papel da circulação de ajuste (trim ou C6), próxima ao topo do digestor. Um conjunto de gráficos mostrados na Figura 1 informa o perfil vertical do número kappa da celulose em cada um dos digestores estudados. O simulador Crossim Pulping Simulator (6-7) gerou estes gráficos a partir dos dados de projeto e processo de cada digestor. Estes gráficos confirmam que ocorre cozimento heterogêneo nos digestores #1 e #2. A mistura insuficiente do licor de cozimento e da distribuição de calor geram uma fase maciça de deslignificação heterogênea. O modelo tem a capacidade de explicar a variabilidade do número kappa da celulose que sai dos digestores observada nos dados obtidos nas fábricas.



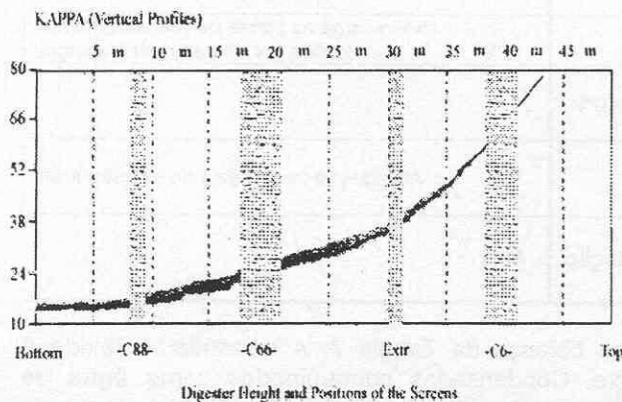
Digester #1 – O digester não possui circulação de ajuste (trim ou C6). A dispersão vertical do perfil de número kappa ocorre no início do cozimento. Na altura de 40 m, o perfil de temperatura do centro para a carcaça do digester varia 7 °C (não mostrado).



Digester #2 – O digester é do tipo MCC. A dispersão do perfil vertical de número kappa está no início do cozimento. Na altura 40 m, o perfil de temperatura do centro para a carcaça varia 10 °C (não mostrado). O digester opera com fluxos de circulação não otimizados. Os perfis de temperatura verticais são heterogêneos (não mostrados).



Digester #3 – O digester é do tipo MCC. Há pouca variação do perfil vertical de número kappa através do cozimento. O perfil de variação de temperatura do centro para a carcaça é mínimo. O digester opera com perfis homogêneos de temperatura vertical e a variação de número kappa é pequena.



Digester #4 – O digester é do tipo ITC. Há pouca variação do perfil vertical de número kappa através do cozimento. O perfil de variação de temperatura do centro para a carcaça é mínimo. O digester opera com perfil homogêneo de temperatura vertical (150 °C) e a variação de número kappa é pequena. Opera com o menor consumo de álcali.

Figura I. Perfis de número kappa verticais e faixa de número kappa prevista na descarga em condições estáveis dos digestores pesquisados. O simulador Crossim 2 realizou a modelagem computacional. Os nomes das peneiras estão de acordo com a respectiva circulação: C6 (ajuste), Extr (extração), C66 (cozimento), C8 (lavagem), C88 (ITC).

A uniformidade da porção superior de um digestor, por meio do projeto e controle da circulação C6, desempenha um papel importante na branqueabilidade da celulose. O perfil isotérmico e os fluxos de circulação adequados nos digestores #4 e #3 (perfis não mostrados) determinam uma distribuição adequada de álcali e temperatura durante esta fase inicial do cozimento. No caso de distribuição heterogênea, as anormalidades produzidas nesta fase não podem ser corrigidas mais adiante. Estes são os casos dos digestores #1 e #2. O digestor #1 nem mesmo tem esta circulação de topo (C6), e o desenho do separador de topo é julgado propiciar aquecimento deficiente. O digestor #2 parece ter esta circulação (C6) sobrecarregada, quando comparada com projetos mais novos (#3 e #4). Esta circulação deve distribuir álcali e calor sem bloquear a coluna de cavacos, que está movendo-se para baixo. Um fluxo volumétrico elevado ao nível da peneira pode significar distúrbios na coluna de cavacos. Esta região com elevados fluxos impede que a coluna de cavacos mova-se para baixo. O decréscimo proposital para fluxos subótimos pode liberar a coluna de cavacos, mas altera a cinética de cozimento e os perfis radiais de calor e álcali. Um sintoma comum na operação de tais digestores é a severidade da ocorrência de bloqueios de coluna. Cada bloqueio e respectiva recuperação dos parâmetros operacionais converte-se num ciclo de qualidade variável no digestor.

5.2. Fatores que potencialmente afetam o branqueamento da celulose

A habilidade de branquear uma celulose pode ser afetada pelos fatores discutidos neste trabalho, com intensidade variável, de acordo com cada caso. Um cálculo da máxima economia potencial no consumo de reagentes de branqueamento, devido a restrições de tecnologia e processo de toda a linha de fibras pode ser estimada deste trabalho. É uma comparação caso-a-caso, sumarizada na Tabela 7.

Tabela 7. Balanço do consumo de reagentes de branqueamento. Os dados relativos referem-se aos dados reais de uma linha de fibras em comparação com uma linha de fibras considerada referência ("benchmark") neste estudo.

Consumo relativo de reagentes de branqueamento	
<i>Fatores</i>	<i>Balanço dos fatores</i>
Consumo na linha de fibras do caso estudado	100%
Consumo na linha de fibras com lavagem limpa	90%
	10% Lavagem c/ condensados contaminados
Consumo por celulose branqueada em laboratório	73%
	17% Sobrecarga na planta de branqueamento (obtida por diferença de balanço)
Consumo na linha de fibras "benchmark" estudada	60%
	13% Atualização tecnológica do digestor kraft
Potencial de redução	40%

Há uma grande economia potencial prevista no balanço da Tabela 7. A quantidade devida à atualização tecnológica do digestor é relevante. Condensados contaminados como água de lavagem referem-se à otimização da planta de evaporação. A atualização da tecnologia de digestão kraft compete igualmente com o desengargalamento da lavagem que é prática normal em projetos de otimização de fábricas.

6. Conclusões

É objetivo deste trabalho demonstrar as oportunidades que um fábrica tem, quando está buscando o aumento de produção e otimização da planta industrial. A relação entre a tecnologia de digestão e o consumo de reagentes de branqueamento é uma tarefa de difícil comprovação em fábricas existentes. A metodologia seguida neste trabalho permite a partição do consumo de reagentes de branqueamento, baseada em casos reais.

A estratificação extensiva de uma avaliação e as provas para os ganhos indiretos são importantes para estabelecer o retorno dos investimentos nos projetos de otimização de fábricas.

7. Agradecimentos

Agradecemos aos engenheiros da Kvaerner Pulping Brasil, especialmente Élio Krumenauer, Marcelo Leite e André Turquetti pela incansável ajuda nas discussões técnicas e por prover os modelos computacionais. Nosso reconhecimento e admiração pelo trabalho profissional de nossos colegas nas fábricas que aceitaram participar deste trabalho cooperativo.

8. Referências bibliográficas

1. **Dallhöf, H.:** State-of-the-art and recent developments in technologies for cooking, washing and bleaching. 1997 Kvaerner Symposium, Oct. 10, 1997. Foz do Iguaçu, paper 1, 11pp.
2. **Dillner, B., Larsson, L-O, Tibbling, P.:** Non-chlorine bleaching of MCC-pulp. 1989 TAPPI Pulping Conference, October 22-25, Seattle. Book 1. pp. 213-221.
3. **Donato, E. M.:** Cenibra ITC continuous cooking. 1997 International Emerging Technologies Conference, March 9-13, 1997. Orlando, paper 2-3. 15pp.
4. **McDonald, S., Uusitalo, P., Hiljanen, S.:** Performance of mill-scale superbatches displacement batch cooking systems. 1993 TAPPI Pulping Conference, November 1-3, 1993, Atlanta. Book 2, pp 415-421.
5. **MacLeod, J.M., Kingsland, K.A., O'Hagan, T.J., Thomas, B.C., McPhee, F.J., Tristram, R.W., Kowalska, R.E.:** Pulp strength delivery along kraft mill fiber lines. 1994 TAPPI Pulping Conference, November 6-10, 1994, San Diego, Book 1, pp 183-191.
6. **Olson, T.:** Continuous cooking simulation in computers. 1993 Kvaerner Symposium. August 19-20, 1993. Curitiba. Apresentação Oral.
7. **Antbacka, S.:** ITC cook. 1993 Kvaerner Symposium. August 19-20, 1993. Curitiba, paper 2, 30 pp.