

DIMAS GOMES DOS SANTOS

**INFLUÊNCIA DA DQO DO CONDENSADO DA EVAPORAÇÃO NA
BRANQUEABILIDADE DA CELULOSE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Santos, Dimas Gomes dos, 1968-
S237i Influência da DQO do condensado da evaporação na
2013 branqueabilidade daceulose / Dimas Gomes dos Santos. –
Viçosa, MG, 2013.
ix, 67 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: José Lívio Gomide.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 56-58.

1. Indústria de celulose. 2. Branqueamento. 3. .
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Florestal. Programa de Pós-graduação Mestrado Profissional em
Tecnologia de Celulose e Papel. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.9861

DIMAS GOMES DOS SANTOS

**INFLUÊNCIA DA DQO DO CONDENSADO DA EVAPORAÇÃO NA
BRANQUEABILIDADE DA CELULOSE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Aprovada: 29 de julho de 2013.

Jorge Luiz Colodette
(Coorientador)

Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho

José Lívio Gomide
(Orientador)

Esta dissertação é dedicada à minha família, em especial aos meus filhos Lucas e Pedro, que são duas pedras preciosas nas quais desejo lapidá-las com todo amor e carinho, e a minha esposa Diônica que compreendeu o esforço e a dedicação para realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus e aos meus pais pela minha existência.

À Companhia Suzano Papel e Celulose e à gerência da linha de fibras pelo incentivo, apoio e liberação para as aulas em Vitória. A gerência do laboratório de pesquisa, no qual foi desenvolvido este trabalho;

Aos amigos do mestrado que acreditaram na realização deste projeto;

Ao professor Colodette e à Universidade Federal de Viçosa que não mediram esforços para realização deste mestrado;

Ao meu orientador José Lívio Gomide pelas sábias orientações;

Aos meus amigos do laboratório Jonatas e Geilson pelas simulações realizadas no laboratório.

Eternamente grato à amiga Carolina Jardim na qual foi a âncora para a realização deste trabalho.

Aos grandes amigos da área da celulose (GECCEL) da Suzano, dos quais respeito e convívio diariamente na vida profissional.

BIOGRAFIA

DIMAS GOMES DOS SANTOS, brasileiro, nasceu no dia 07 de agosto de 1968 em Lorena-SP, sendo o 8º filho do Sr. Osvaldo Gomes dos Santos natural de Tabira-PE e da Sra. Maria Marton dos Santos natural de Lorena-SP e descendência italiana. Em 1987 serviu o exército 5º BI – Batalhão de Infantaria de Lorena. Em 1988 Formou em técnico mecânico na escola técnica Prof. José S’antana de Castro em Cruzeiro-SP. Ao final da formação escolar técnica realizou um concurso de âmbito nacional em São Paulo capital e foi aprovado para o curso de formação de mecânico de manutenção de aeronaves (convênio EMBRAER-DAC) em São José dos Campos-SP, dois anos do curso de período integral, residindo no CTA em São José dos Campos. Em 1990 começou a trabalhar na RIO-SUL e após seis meses mudou para a VASP, que na crise aérea do início da década de 90 o demitiu.

Desta forma, retornou para Lorena e em 1993 realizou o vestibular e ingressou na faculdade FAENQUIL Faculdade de Engenharia Química de Lorena (atual USP unidade Lorena) no curso de engenharia de biotecnologia química. Em 1996 participou do programa de iniciação científica com bolsa de estudo do CNPQ na área de enzimas.

Em 1998 iniciou como estagiário na já inexistente BJP engenharia, sendo efetivado no projeto da Solvay Indupa S.A. como supervisor de Utilidades (tratamento de água e efluente). Em 2000 encerrou o contrato com a BJP e iniciou como operador de caldeira e turbina na própria Solvay.

Em 2002 ingressou no ramo de produção de celulose como operador de SDCD do branqueamento na VCP-Jacareí (atual Fibria-Jacareí). Em 2004 realizou o curso de administração de empresas “Lato Sensu” na FAAP em São José dos Campos-SP. Em 2005 iniciou o curso de especialização de celulose e papel pela UFV Universidade Federal de Viçosa custeado pela VCP-Jacareí.

Em 2006 passou a trabalhar na GL&V na área de treinamento, assistência técnica, projetos, comissionamento e “*start-up*”, na qual desenvolveu habilidades e experiências em outros países. Em 2010 negociou um novo contrato de trabalho com a Suzano Papel e Celulose, na qual trabalha atualmente.

ÍNDICE

RESUMO.....	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO.....	3
2.1 Objetivos Específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1 Processo kraft de produção de celulose	4
3.1.1 Cozimento kraft dos cavacos	4
3.1.2 Recuperação do licor negro	6
3.1.3 Lavagem da polpa de celulose.....	8
3.1.4 Branqueamento da polpa de celulose	9
3.2 Consumo de químicos e branqueabilidade da celulose	11
3.2.1 Impactos da DQO no consumo de químicos no branqueamento	12
4. PLANO DE TRABALHO	14
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
5.1 Preparo das amostras de condensados.....	16
5.1 Preparo das amostras de polpa	16
5.2 Métodos.....	18
5.2.1 Simulações de lavagem e branqueamento	18
5.2.1.1 Simulação 1.....	19
5.2.1.2 Simulação 2.....	19
5.2.1.3 Simulação 3.....	19
5.2.1.4 Simulação 4.....	19
5.2.2 Métodos.....	20
5.2.2.1 Lavagem da polpa depurada	20
5.2.2.2 Branqueamento da polpa depurada e lavada.....	20
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
6.1 Delineamento de lavagem da polpa	23
6.2 Simulações.....	24
6.2.1 Simulação 1.....	24
6.2.1.1 Caracterização dos condensados	24

6.2.1.2 Consumo de Cloro Ativo.....	26
6.2.1.3 Branqueabilidade das Polpas.....	27
6.2.1.3.1 Número kappa.....	27
6.2.1.3.2 Alvura.....	29
6.2.1.3.3 Viscosidade.....	31
6.2.1.3.4 Reversão de Alvura.....	31
6.2.2 Simulação 2.....	33
6.2.2.1 DQO do condensado versus DQO da polpa.....	33
6.2.2.2 Consumo de Cloro Ativo.....	34
6.2.2.3 Branqueabilidade das Polpas.....	35
6.2.2.3.1 Número kappa.....	35
6.2.2.3.2 Alvura.....	36
6.2.2.3.3 Viscosidade.....	39
6.2.2.3.4 Reversão de Alvura.....	40
6.2.3 Simulação 3.....	40
6.2.3.1 Consumo de Cloro Ativo.....	40
6.2.3.2 Branqueabilidade das Polpas.....	41
6.2.3.2.1 Número kappa.....	41
6.2.3.2.2 Alvura.....	42
6.2.3.2.3 Viscosidade.....	45
6.2.3.2.4 Reversão de Alvura.....	45
6.2.4 Simulação 4.....	47
6.2.4.1 Consumo de Cloro Ativo.....	47
6.2.4.2 Branqueabilidade das Polpas.....	48
6.2.4.2.1 Número Kappa.....	48
6.2.4.2.2 Alvura.....	49
6.2.4.2.3 Viscosidade.....	52
6.2.4.2.4 Reversão de Alvura.....	53
7. CONCLUSÃO.....	54
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
ANEXOS.....	59
Anexo 1.....	60
Anexo 2.....	61

Anexo 3.....	63
Anexo 4.....	65
Anexo 5.....	66

RESUMO

SANTOS, Dimas Gomes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2013. **Influência da DQO do Condensado da Evaporação na Branqueabilidade da Celulose.** Orientador: José Lívio Gomide. Coorientadores: Jorge Luiz Colodette e Rubens Chaves de Oliveira.

O processo de branqueamento na linha de fibras 2 da Suzano Papel e Celulose (Mucuri-BA) utiliza condensado da evaporação 2 com elevado teor da DQO para a lavagem da polpa pré-branqueada. Neste estudo foi analisado, em laboratório, a influência da DQO do condensado no consumo de cloro ativo e parâmetros de branqueabilidade da polpa, na sequência A/DEpDP. Foram realizadas quatro simulações, nas quais foram utilizados condensados industriais da Suzano e duas outras fábricas do Setor (Fábricas A e B). Também foi avaliada a influência de filtrados diluído e concentrado, coletados no lavador DDW, em comparativo à utilização de condensado. Na caracterização dos condensados foi observado que o valor de DQO da amostra Suzano (2910,8 ppm) é oito vezes superior aos valores das Fábricas A e B (263,3 e 339,2 ppm, respectivamente) e que para esta amostra a composição de metanol equivale a 74,0% do valor integral da DQO. Foi observado que 98,16% da variação da DQO da polpa (entrada do branqueamento) é explicada pela DQO do condensado utilizado na sua lavagem. Nas Simulações 1 e 2 foi avaliada a influência dos condensados Suzano, Fábricas A e B e Suzano otimizado, onde observou-se que a amostra Suzano, com maiores valores da DQO do condensado e da polpa, demonstrou maior dificuldade de branqueabilidade. Não foi verificada influência da DQO do condensado nos valores de viscosidade da polpa. Ainda, foi verificada uma redução no consumo de cloro ativo equivalente a 1,3; 0,9 e 1,8 kg/tsa para as amostras da Fábrica A, B e Suzano otimizada, respectivamente, quando comparado ao consumo da amostra Suzano, para atingir uma alvura final de 89,7 %ISO. Por fim, na Simulação 4, onde foi avaliada a influência da lavagem com condensado e filtrados diluído e concentrado, coletados nos lavadores DDW, foi observada que a lavagem da polpa com os filtrados afetou negativamente a branqueabilidade da polpa, aumentando o valor de número kappa no estágio Ep e interferindo nos valores de alvura em todos os estágios de branqueamento. Também, foi verificado um aumento no consumo de cloro ativo, para atingir uma alvura final da polpa equivalente a 89,0 %ISO, inferindo que esta lavagem com filtrados não se viabiliza economicamente.

ABSTRACT

SANTOS, Dimas Gomes, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2013. **COD Influence of Condensate Evaporation in Pulp Bleachability**. Adviser: José Lívio Gomide. Advisers: Jorge Luiz Colodette and Rubens Chaves de Oliveira.

The bleaching washing process in Suzano Papel e Celulose (Mucuri-BA)'s -fiberline 2 utilizes condensate from evaporation 2, which contains high COD load. This laboratory study was designed to verify the influence of evaporation condensate COD load and chlorine dioxide consumption in pulp bleachability, in A/DEpDP. Four simulations were performed and industrial condensate from Suzano's Mucuri unit and two other Pulp Plants (A and B) were utilized. The influence of DDW filtrate, both diluted and concentrated, in contrast to condensate, was also evaluated. On the condensate characterization, COD content on Suzano's sample (2910.8 ppm) was eight times higher than the values of Plants A and B (263.3 and 339.2 ppm, respectively) and the methanol content was 74.0% of COD's value. Analysis showed that 98.16% of the pulp's COD variation could be explained by the condensate COD load used to wash the pulp. Simulations 1 and 2 evaluated the bleachability influence of the following condensates: Suzano, Plants A and B, and Suzano's optimized. Suzano's sample, with greater condensate and pulp COD values, presented greater bleachability difficulty, where this variation can be attributed to the COD load of the pulp entering the bleach plant. COD influence on pulp viscosity was not significant. Finally, in order to achieve a final brightness of 89.7% ISO, there was an active chlorine consumption reduction equivalent to 1.3; 0.9 and 1.8 kg/tsa for Plant A, B and Suzano optimized respectively, when compared to Suzano's sample consumption. Simulation 4 evaluated the influence of washing the pulp with condensed and filtrates (diluted and concentrated) that were collected from the DDWs. Washing the pulp with filtrate affected pulp bleachability negatively, increasing Ep kappa number and interfering with brightness development in all bleaching stages. Moreover, there was an increase in active chlorine consumption of 5.0 and 13.0 kg/ADT, for the samples washed with diluted and concentrated filtrates, respectively, when compared with the consumption for pulp washed with condensate, to achieve final pulp brightness equivalent to 89.0% ISO. Thereby, it is possible to infer that the use of washer filtrates is not economically attractive, given the increase in active chlorine consumption in the bleaching step.

1. INTRODUÇÃO

A Suzano Papel e Celulose S.A. é uma empresa de base florestal, de capital aberto, controlada pela Suzano Holding e pertencente ao Grupo Suzano, com 87 anos de atuação e opera em dois segmentos: celulose de mercado comercializada em 31 países e papel vendido em 86 países. É a segunda maior produtora de celulose de eucalipto do mundo, ranqueada entre as dez maiores de celulose de mercado, além de líder o mercado de papel no Brasil/América Latina. No território brasileiro a Suzano Papel e Celulose é constituída por: duas unidades industriais em Suzano (SP), uma unidade em Embu (SP), uma unidade em Limeira (SP) e uma unidade em Mucuri (BA), além da divisão especializada na distribuição de produtor gráficos SPP – Nemo. Na área de celulose após rever estratégia de crescimento avançará nas etapas de ampliação com atuação no nordeste brasileiro, com o objetivo de dobrar capacidade de produção construirá duas linhas de produção de celulose, no Maranhão e no Piauí.

Na unidade industrial de Mucuri (BA) existem 2 linhas de produção de celulose de eucalipto branqueada: linha de fibras 1 (L1) com o início de produção no ano de 1991 com atual capacidade de 700.000 t/ano e a linha de fibras 2 (L2) com o início de produção em 2007 com capacidade de 1.000.000 t/ano. Na L2 o processo industrial de cozimento do eucalipto é do tipo *Compact Cooking*, e após este a polpa é lavada em equipamento lavador denominado DDW (*Drum Displacement Washer*), passando para o pré-branqueamento com oxigênio em dois estágios. Na sequência ocorre a depuração e lavagem da polpa em equipamento DDW, utilizando-se nesta etapa de lavagem um condensado proveniente da evaporação. Por fim essa polpa pré-branqueada lavada passa para o processo de branqueamento nos estágios: Dual D, Eop, D e P. Vale ressaltar que o condensado utilizado na lavagem da polpa depurada possui um alto teor de demanda química de oxigênio (DQO), apresentando valores médios de 2500 ppm. Estima-se que a maior parte desta DQO é decorrente do metanol, pela baixa eficiência da coluna do *Stripper* da evaporação.

É bem fundamentado que a branqueabilidade da polpa de eucalipto é função de uma matriz complexa de variáveis e estas operam sinergicamente. Dentre elas podem ser citadas as frações do número kappa (lignina, ácidos hexenurônicos, extrativos, carbonilas e carboxilas) e *carryover* sendo que cada elemento desta

matriz possui um consumo específico de oxidantes (Costa *et al.*, 2003; Gellerstedt *et al.*, 2003). Um exemplo muito claro do grande número de variáveis que impactam no branqueamento da polpa de eucalipto são as causas encontradas rotineiramente para as variações de consumo específico, em especial do consumo de dióxido de cloro.

Muitos autores têm relatado os impactos negativos da elevada DQO do condensado da evaporação na tratabilidade dos efluentes na indústria de Celulose e Papel (Araujo *et al.*, 2009). Por outro lado, o tópico ainda é pouco discutido no âmbito do entendimento dos seus impactos na branqueabilidade da polpa de celulose.

2. OBJETIVO

Verificar a influência da DQO do condensado utilizado no processo de lavagens de polpas, na branqueabilidade da polpa celulósica e no consumo de dióxido de cloro no branqueamento de sequência A/DEpDP.

2.1 Objetivos Específicos

Avaliar o condensado industrial da Suzano Mucuri e o condensado de outras duas fábricas do setor similares a linha da Suzano Mucuri, na lavagem da polpa depurada.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Processo kraft de produção de celulose

A produção de celulose consiste, basicamente, na degradação e remoção da lignina da madeira, que funciona como substância “cimento” para união das fibras de celulose, possibilitando a separação e individualização das mesmas. A transformação da madeira em polpa celulósica consiste na separação das fibras que a constituem. Para a separação eficiente das fibras, sem que haja uma excessiva degradação das mesmas, são utilizadas substâncias químicas e energia térmica capazes de causar degradação e solubilização da lignina que mantém as fibras unidas. Dentre os processos existentes, para a produção de celulose, o kraft é o mais eficiente, sendo utilizado para a produção de mais de 90% da celulose química produzida no Brasil (d’Almeida, 1988).

3.1.1 Cozimento kraft dos cavacos

Do pátio de estocagem de madeira, os cavacos são enviados para o digestor, no qual são tratados quimicamente com o licor de cozimento. O licor de cozimento é constituído pela solução aquosa de hidróxido de sódio e sulfeto de sódio, numa proporção molar de aproximadamente 5:1. Durante esse tratamento, a temperatura é elevada gradualmente até atingir de 155 a 170 °C. Essa temperatura é mantida por um tempo adicional para uma remoção eficiente da lignina. Durante esse tratamento termoquímico, a lignina é degradada, o que possibilita a separação das fibras, obtendo-se uma massa constituída pelas fibras individualizadas e pelo licor residual que, por sua coloração muito escura, é denominado licor negro. Essa massa escura é enviada aos lavadores, nos quais a polpa celulósica é separada do licor negro que, devido à adição de água de lavagem, apresenta uma concentração relativamente baixa (14-16% de sólidos) (Mieli, 2007).

A celulose de eucalipto, obtida após o cozimento e lavagem, apresenta ainda, um pequeno teor de lignina residual que, mesmo em baixas concentrações (cerca de 2,5%), é suficiente para causar uma coloração marrom à polpa de celulose e desta advém a denominação de polpa marrom. Para a eliminação dessa lignina residual a polpa é enviada aos setores de pré-branqueamento e branqueamento, nos quais os

grupos cromóforos que causam a coloração marrom são eliminados, obtendo-se uma celulose branca de alta alvura (90% ISO) (Cardoso, 2002).

O licor negro residual, contendo parte da madeira que foi degradada durante o cozimento (cerca de 50%) e os reagentes do cozimento, é enviado para o setor de recuperação, no qual é queimado para a produção de energia e recuperação do NaOH e Na₂S utilizados no cozimento (Cardoso, 2002).

A presença de íons sulfeto como reagente ativo no licor de cozimento Kraft causa, inevitavelmente, a formação de compostos gasosos mal cheirosos. Estes compostos gasosos gerados no cozimento kraft, denominados de TRS (compostos de enxofre total reduzido) são: o sulfeto de hidrogênio (H₂S), o metilmercaptana (CH₃SH), o dimetilsulfeto (CH₃SCH₃) e o dimetildisulfeto (CH₃S₂CH₃). Esses gases, apesar de não serem produzidos em grandes quantidades, são suficientes para causarem um odor desagradável e característico do processo kraft. Mesmo em concentrações mínimas no ar, da ordem de apenas poucas partes por bilhão, o cheiro desagradável destes gases é percebido pronunciadamente pelo olfato humano. Em modernas fábricas kraft estes compostos são coletados e queimados no forno de cal, nas caldeiras ou em uma unidade de incineração específica para este fim (Cardoso, 2002).

A geração de efluentes líquidos no processo de cozimento kraft não constitui um problema, uma vez que o licor de cozimento utilizado é totalmente recuperado no setor de recuperação dos licores. Falhas no processo que acarretem vazamentos e derramamentos do licor podem constituir uma importante fonte de poluição. Esses vazamentos, quando ocorrem, devem ser prontamente corrigidos, pois, além de causarem problemas ambientais, constituem perdas indesejáveis no processo (Dence e Reeve, 1996).

Os vapores condensados na área do digestor, por possuírem compostos de enxofre dissolvido, podem constituir uma importante fonte de poluição. Os condensados contaminados são normalmente submetidos a um tratamento setorial através de uma torre de destilação a ar ou vapor, comumente denominada “torre de stripping”, sendo que os gases não condensáveis são encaminhados para queima e os condensados tratados reutilizados no processo (Dence e Reeve, 1996).

3.1.2 Recuperação do licor negro

Os principais objetivos da recuperação química na fábrica de polpa kraft são: (i) a recuperação dos reagentes químicos para a produção de licor de cozimento com composição adequada e constante; e (ii) a produção de vapor e energia elétrica para atender ao processo. Os principais processos do ciclo de recuperação química são ilustrados na Figura 1 (Green e Hough, 1992). Um grande benefício do ciclo de recuperação é que ele elimina a descarga de um fluxo significativo de efluente com grande potencial poluidor.

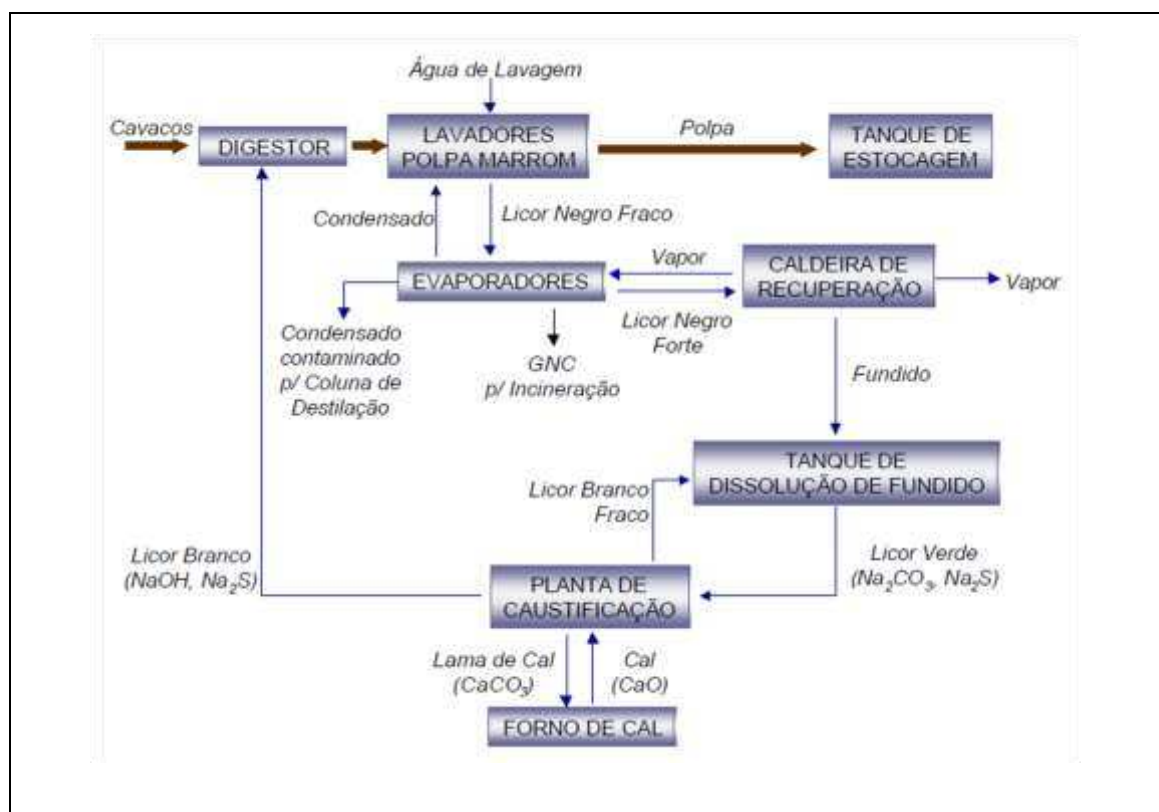


Figura 1: Fluxograma do ciclo de recuperação química de uma fábrica de polpa Kraft. Fonte: Green e Hough, 1992.

O ciclo de recuperação se inicia com a lavagem da polpa marrom, no qual o licor negro é separado da polpa kraft nos lavadores de polpa. O licor negro fraco (diluído) recuperado da polpa marrom contém em torno de 14 a 17% de sólidos dissolvidos. Destes sólidos, aproximadamente um terço é composto por sais inorgânicos oriundos do licor branco e dois terços são compostos orgânicos extraídos da madeira (Green e Hough, 1992).

O licor negro fraco precisa ser concentrado acima de 65% de sólidos secos para possibilitar sua queima na caldeira de recuperação por força da matéria orgânica nele contida. Essa concentração é feita em evaporadores de múltiplo efeito, isto é, com vários trocadores de calor em série. Evaporadores de múltiplo efeito contem, tipicamente, de cinco a sete efeitos. Os fluxos de vapor e licor fluem pelos efeitos em contracorrente. Vapor vivo é alimentado ao efeito com licor negro de maior concentração (primeiro efeito). O vapor gerado no primeiro efeito é condensado no segundo efeito, e assim sucessivamente. O vapor condensado do último efeito é proveniente de um condensador barométrico (Chandra, 2004).

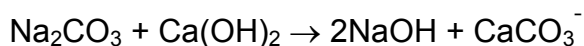
Os vapores condensados durante a evaporação, por possuírem compostos de enxofre dissolvido, podem constituir uma importante fonte de poluição. Os condensados contaminados são normalmente submetidos a um tratamento setorial através de uma coluna de destilação a ar ou vapor, comumente denominada torre de “*stripping*”, sendo que, os gases não condensáveis são encaminhados para queima e os condensados tratados reutilizados no processo. São gerados tipicamente de 1 a 2 m³ de efluentes da planta de evaporação por tonelada de polpa produzida (Green e Hough, 1992).

Os gases não condensáveis (GNC) são os compostos gasosos que são liberados do licor negro durante a evaporação. Eles são compostos, principalmente, de metanol (MeOH) e os compostos reduzidos de enxofre (TRS). Os GNC são coletados na evaporação (nos condensadores e na coluna de destilação) e são incinerados (destruídos). Em geral, não há emissão de GNC na evaporação (Adams *et al.*, 1997).

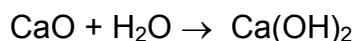
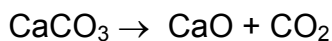
O licor negro forte (concentrado) segue para a caldeira de recuperação na qual a matéria orgânica é queimada e os sais inorgânicos são reduzidos a um fundido, cujos principais componentes são o carbonato de sódio (Na₂CO₃) e o sulfeto de sódio (Na₂S). O calor liberado na combustão é aproveitado para a geração de vapor e energia elétrica. Para compensar a perda de reagentes, antes da queima é adicionada ao licor negro uma quantidade suficiente de Na₂SO₄ que, durante a queima do licor, é transformado em Na₂S (Chandra, 2004).

O licor branco (NaOH e Na₂S) utilizado na polpação é regenerado na planta de caustificação à partir do fundido. O carbonato de sódio (Na₂CO₃) e o sulfeto de sódio (Na₂S) são misturados no tanque de dissolução do fundido para formar o licor

verde. A concentração do licor verde é controlada pela adição de licor branco fraco ao tanque e as impurezas suspensas que causam a coloração verde do licor são removidas. Na primeira etapa da caustificação, a cal (CaO) é hidratada, ou apagada, para formar o hidróxido de cálcio, Ca(OH)₂. Este hidróxido de cálcio reage, então, com o carbonato de sódio presente no licor verde e produz o hidróxido de sódio (NaOH) e o carbonato de cálcio (CaCO₃), este último conhecido como lama de cal. (Biermann, 1996).



Segundo Biermann (1996) o CaCO₃ obtido é calcinado em forno especial (forno de cal), resultando na formação de CaO que, após hidratado, é transformado em Ca(OH)₂, sendo reutilizado para transformação do Na₂CO₃ em NaOH:



Embora o ciclo de recuperação seja essencialmente fechado, desvios não intencionais do licor negro e outros efluentes para o sistema de tratamento da fábrica são considerados normais nas operações e processos de operação, tais como, paradas e partidas programadas de equipamentos (evaporadores, caldeira, caustificadores, forno de cal) para manutenção (Biermann, 1996).

3.1.3 Lavagem da polpa de celulose

A lavagem da polpa consiste na remoção de material orgânico e inorgânico dissolvido na polpa após os processos de cozimento, pré-branqueamento com oxigênio e branqueamento, utilizando-se a menor quantidade de água e/ou filtrados/condensados recirculados no sistema. Boa parte da rentabilidade dos processos químicos alcalinos de fabricação da celulose está na recuperação do máximo de compostos químicos utilizados no cozimento, bem como no aproveitamento do poder calorífico do material orgânico dissolvido da madeira, na geração de vapor e energia. Estes materiais dissolvidos que acompanham a polpa (orgânico e inorgânico), podem prejudicar os estágios de pré-branqueamento e/ou branqueamento, podendo aumentar o consumo de reagentes químicos e reduzir a alvura e resistência da polpa final (Trindade, 2003).

No panorama atual as etapas de lavagem demandam utilização do fechamento do circuito, de forma a minimizar encargos e problemas com o tratamento de efluentes (Frassão, 2008).

O melhor resultado possível na retirada dos orgânicos e inorgânicos dissolvidos é obtido quando se aplica água limpa em todas as etapas de lavagem, mas esse princípio não é utilizado nos sistemas modernos de lavagem, pois acarretaria um alto consumo de água limpa na fabricação de celulose. Normalmente, a lavagem da polpa é feita em um sistema contracorrente, no qual a água limpa é aplicada no final do ciclo de lavagem e o filtrado gerado desta última etapa é reutilizado nos estágios anteriores, movendo-se em contracorrente para o sentido lado de entrada da pasta de celulose no sistema. Este sistema permite manter um consumo razoável de água sem prejudicar na lavagem do processo (Frassão, 2008)..

3.1.4 Branqueamento da polpa de celulose

Na polpação kraft são removidos tipicamente de 90 a 95% da lignina, o polímero que age como cimento das fibras de celulose. Para minimizar a degradação das fibras (a despolimerização da celulose e das hemiceluloses) é necessário terminar a polpação antes de se remover toda a lignina. A cor escura da polpa kraft não-branqueada é causada pela lignina residual e outros grupos cromóforos (extrativos da madeira, íons metálicos, etc.), que permanecem na polpa após o cozimento. O processo de branqueamento objetiva remover a maior parte dessa lignina residual e destruir os componentes cromóforos que permaneceram na polpa, utilizando-se reagentes mais específicos (Dence e Reeve, 1996).

Por muitos anos o cloro gás (Cl_2) foi utilizado preferencialmente como reagente de branqueamento, em razão do seu baixo custo e da sua alta especificidade para com a lignina residual. Entretanto, o uso de Cl_2 no branqueamento conduz a formação de compostos organoclorados (AOX), que são dissolvidos nos filtrados. Desde a descoberta da presença de dioxinas nos efluentes de fábricas de polpa kraft branqueada, em meados da década de 80, a indústria adotou novas tecnologias para minimizar a formação de AOX e permitir um maior fechamento dos circuitos de filtrados do branqueamento. As novas tecnologias adotadas incluem as sequências de branqueamento ECF (*elementally chlorine free*)

isentas de cloro gás, e as sequências TCF (*totally chlorine free*), ou seja, isentas de quaisquer reagentes à base de cloro (McKague e Carlberg, 1996).

Usualmente, o branqueamento da polpa kraft é realizado em sequências de múltiplos estágios para minimizar a aplicação dos reagentes químicos e preservar a qualidade e resistência da polpa. O tipo e número de estágios do branqueamento de polpa kraft dependem de limitações quanto à proteção ao meio ambiente, uso final da polpa branqueada (qualidade), do objetivo de alvura final da polpa, do tipo de material fibroso (por exemplo, fibra curta ou fibra longa) e o número kappa da polpa marrom. Cada estágio consiste da mistura da polpa com reagentes químicos e/ou vapor, da reação da mistura em torres e/ou reatores de branqueamento e da lavagem da polpa após a reação. O fluxograma de uma sequência de branqueamento ECF, está apresentado na Figura 2 (Dence e Reeve, 1996).

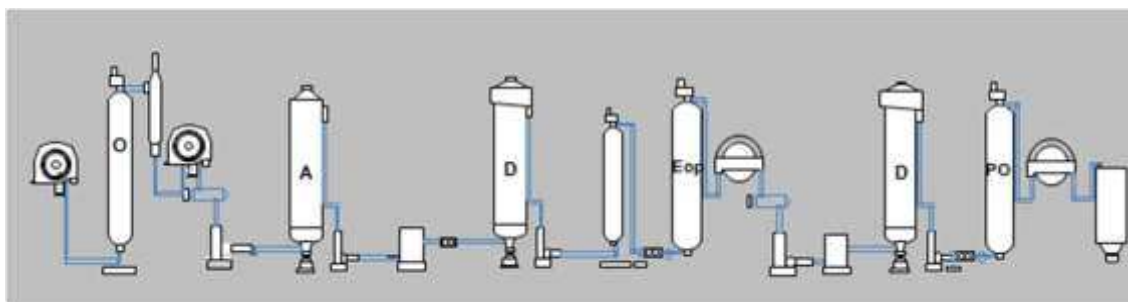


Figura 2: Fluxograma de uma sequência de branqueamento A/DEopD(PO) do tipo ECF (*Elementally Chlorine Free*).

A polpa a ser branqueada passa por vários estágios e, após esses, é lavada em contra corrente (para economizar energia, água e reagentes). Usualmente, água fresca (e, ou, da máquina de secagem) só é utilizada no primeiro e no último estágio de uma sequência. Quanto mais fechado o sistema de lavagem, mais sujo será o filtrado de lavagem do primeiro estágio, resultando em um maior consumo de reagentes, que é justificado pela menor geração de efluentes (Frassão, 2008).

A lavagem entre os estágios separa o material solubilizado da polpa e expõe novas superfícies à ação dos reagentes de branqueamento, reduzindo assim, o consumo de reagentes. A presença de material organoclorado dificulta a recirculação dos filtrados (ácidos) do branqueamento para o ciclo de recuperação, devido ao risco de corrosão da caldeira por cloretos e, portanto, esses são geralmente enviados para o sistema de tratamento de efluentes da fábrica. Filtrados

com baixos teores de cloretos podem ser enviados para o ciclo de recuperação do licor (Dence e Reeve, 1996).

3.2 Consumo de químicos e branqueabilidade da celulose

O principal objetivo do branqueamento é aumentar a alvura das polpas, seja por modificação ou eliminação de seus constituintes brutos (como lignina, resinas, íons metálicos, hidratos de carbono não-celulósicos e outras impurezas). Paralelamente, observa-se uma constante busca de consumos específicos cada vez menores para produção de polpa com padrões comerciais de alvura (90% ISO) (Dence e Reeve, 1996).

A redução do número kappa na entrada do branqueamento figura dentre uma das alternativas para a redução do consumo de químicos no branqueamento (Caux *et al.*, 2011). Neste sentido a deslignificação com oxigênio após polpação kraft é uma tecnologia bem estabelecida. Entretanto, apesar de propiciar uma efetiva redução no número kappa, este deve ser relatado apenas como uma redução no conteúdo de parte da lignina residual da polpa não branqueada. Algumas estruturas não são reativas nesta tecnologia como os ácidos hexenurônicos e os complexos lignina-carboidrato (CLC) que podem representar mais de 60% do número kappa da polpa marrom. Assim quando expressa em termos de redução do número kappa, a eficiência de deslignificação ficará sempre limitada à existência de tais estruturas (Colodette *et al.*, 2008).

Também, o design da linha de branqueamento compatível com as frações resultantes do número kappa pode colaborar com uma substancial redução no consumo de químicos e evitar perdas de rendimento desnecessárias (Caux *et al.*, 2011).

Uma eficiente etapa de lavagem no pré-branqueamento remove o material orgânico e inorgânico dissolvido e proporciona condição adequada da polpa para os estágios de branqueamento, minimizando distúrbios e diminuindo o consumo de químicos. Desse modo, a lavagem adequada da polpa contribui significativamente na melhoria da eficiência tanto do pré-branqueamento com oxigênio quanto no branqueamento, refletindo em menor consumo específico de químicos (Frassão, 2008).

3.2.1 Impactos da DQO no consumo de químicos no branqueamento

A análise da DQO (demanda química de oxigênio) de uma amostra mensura o quanto do equivalente de oxigênio seria consumido se ele fosse capaz de oxidar a substância completamente. Neste teste laboratorial usualmente utiliza-se o dicromato de potássio como reagente oxidante, em alta temperatura e por longas horas, determinando-se, portanto, o total de material oxidável disponível (Frassão, 2008).

O uso do método da DQO como parâmetro para avaliação das perdas de um sistema de lavagem de polpa marrom, tem sido cada vez mais utilizado pelos fabricantes de polpa celulósica. A DQO é reportada como uma quantidade de miligramas de oxigênio equivalente consumida por um litro de licor usado como amostra. Obviamente, quanto maior a quantidade de compostos orgânicos contidos no licor maior será o consumo de oxigênio e maior será a DQO. Existem alguns padrões para o método da análise da DQO, sendo que o mais utilizado tem sido o método SCAN-CM-45:91. Uma das vantagens da análise da DQO para avaliação da eficiência de um sistema de lavagem deve-se ao fato de que a DQO é solúvel em água, desde que esteja completamente dissolvida no licor de amostra. Não há dessorção de carga orgânica das fibras da polpa e a DQO é independente de variações de pH do licor (David, 2004)..

Na indústria de celulose a utilização de condensado secundário da planta de evaporação é prática comum no sistema de lavagem da polpa marrom. Vale salientar que muitos serão os impactos sentidos no processo de branqueamento, devendo-se atentar à qualidade do condensado utilizado, especialmente, no que tange ao parâmetro da DQO. Variação na DQO do condensado poderá impactar diretamente no consumo específico dos químicos de branqueamento, especialmente dos reagentes eletrofílicos, tal como o dióxido de cloro (Viirimaa *et al.*, 2001).

Segundo Caux *et al.* (2011), o consumo de dióxido de cloro no branqueamento de celulose de eucalipto mostrou-se sensível a oscilação da DQO da polpa de entrada no branqueamento.

Na literatura ainda é limitada a informação dos efeitos do condensado no branqueamento. Em estudo realizado simulando a adição de diferentes compostos orgânicos voláteis na polpa de celulose, antes do branqueamento, não foi observado efeito negativo na viscosidade desta. Já em outra simulação realizando lavagem da

celulose com condensado da evaporação foi verificado que quando existia elevada carga da DQO do condensado os resultados do branqueamento após o estágio D0 pioraram, marcado pela redução de alvura e aumento do número kappa da polpa. Por outro lado, não foi verificado efeito na viscosidade da polpa (Viirimaa *et al.*, 2002; Sankari *et al.*, 2004).

Caracterizar a DQO da polpa é uma das formas de controle de reagentes químicos do branqueamento. Para tal, é preciso identificar os substratos responsáveis pela variação da DQO da polpa (Sillanpää *et al.*, 2001). De acordo com Viirimaa *et al.* (2002) e Sankari *et al.* (2004) a DQO do condensado caracteriza-se principalmente por metanol e ácido fórmico, compostos que não afetam qualidade da polpa no branqueamento. Os compostos mais danosos são aqueles com base em enxofre, tais como DMDS e DMS, que também podem causar DQO do condensado.

4. PLANO DE TRABALHO

No trabalho foram realizadas quatro simulações, no qual o plano de trabalho para cada uma delas é apresentado nas Figuras 3-6 abaixo.

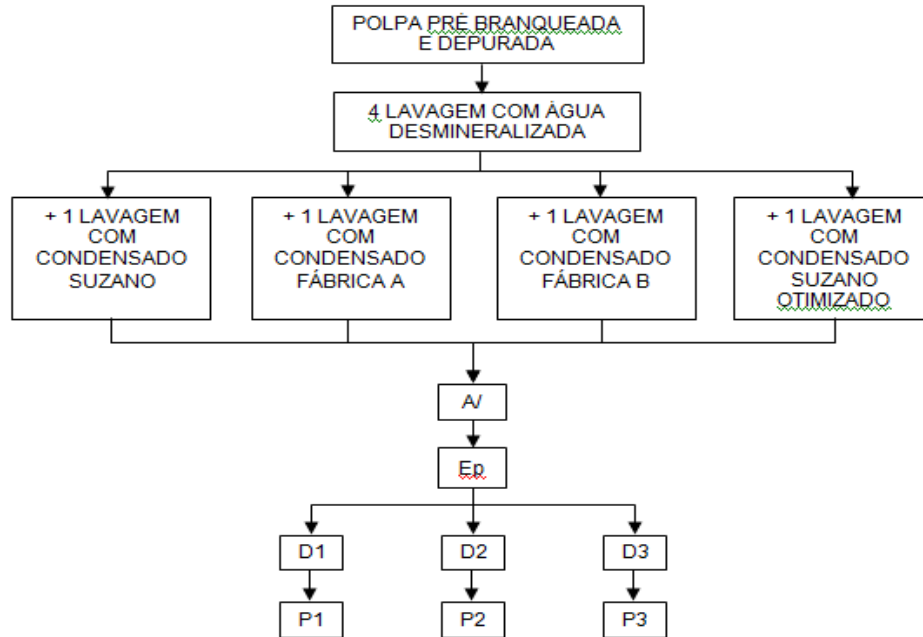


Figura 3: Plano de trabalho da Simulação 1.

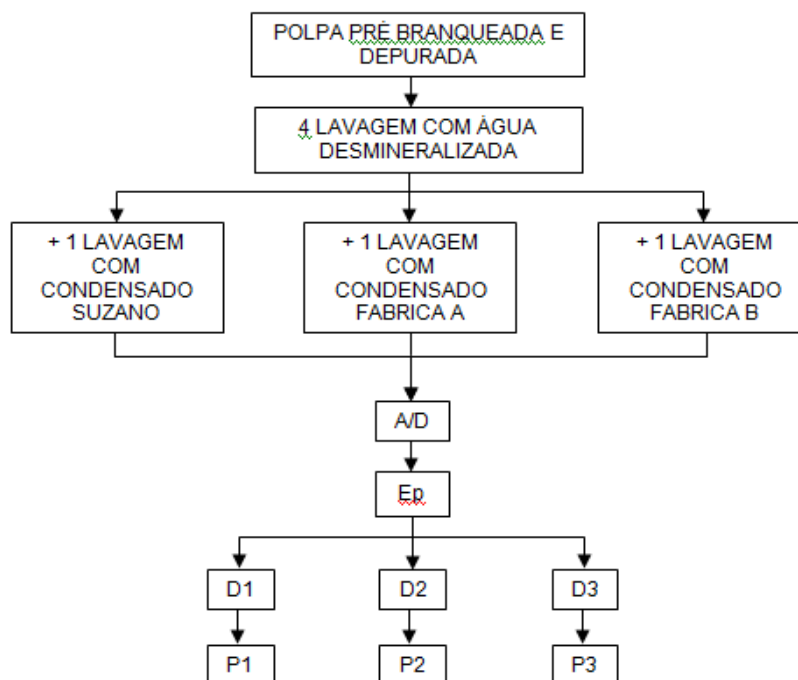


Figura 4: Plano de trabalho da Simulação 2.

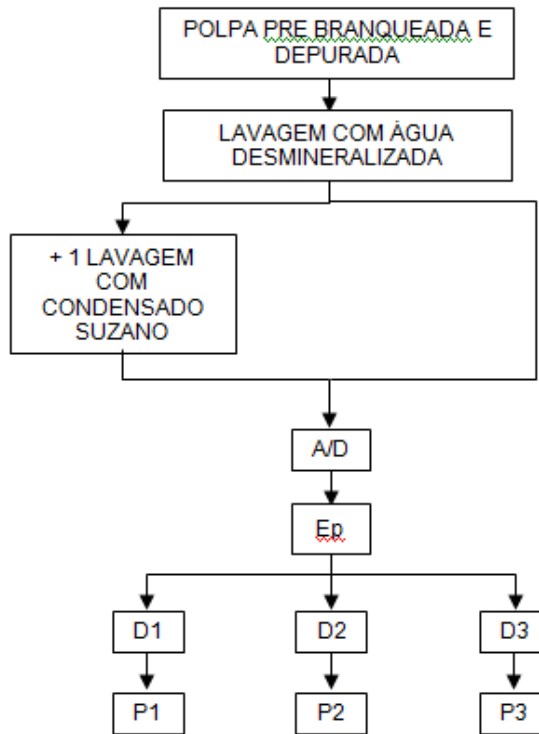


Figura 5: Plano de trabalho da Simulação 3.

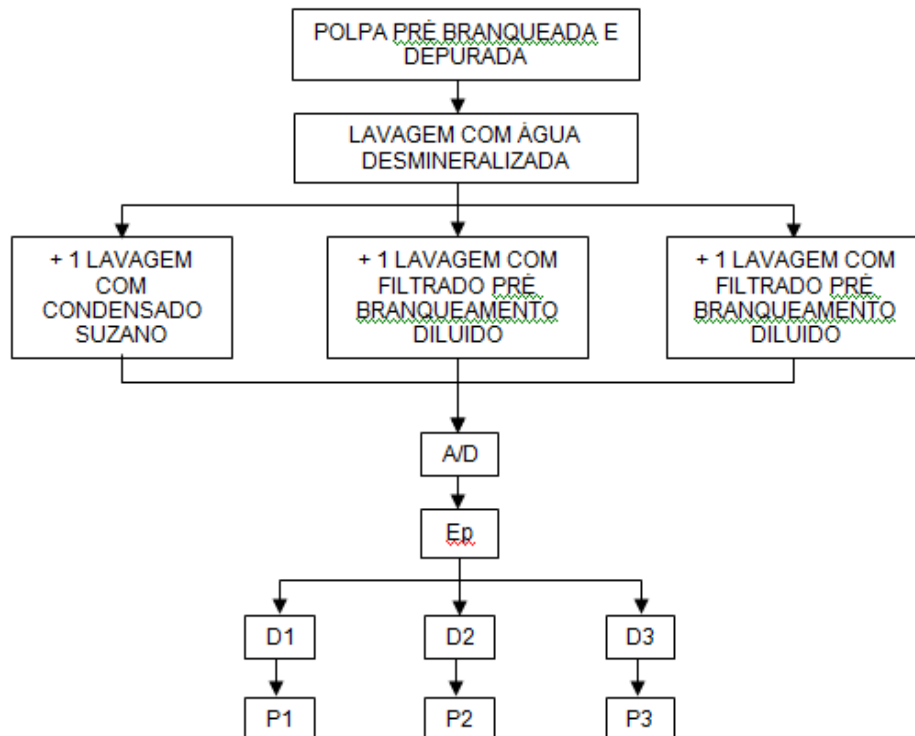


Figura 6: Plano de trabalho da Simulação 4.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Preparo das amostras de condensados

Foram coletadas amostras dos condensados tratados da evaporação da L2 da Suzano unidade Mucuri-BA e também de outras duas fábricas do setor de celulose, com produções e branqueamento similares à L2, sendo as fábricas denominadas A e B. Complementarmente, foram coletadas amostras dos filtrados do pré-branqueamento.

As amostras de condensados foram caracterizadas quanto às suas propriedades químicas, e os resultados estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização dos condensados.

Análise	Condensado			
	Suzano	Fábrica A	Fábrica B	Suzano Otimizado
DQO, ppm	2910,8	363,3	339,2	316,6
Metanol, ppm	1516	163	129	-
pH	9,53	8,99	8,4	9,5
Condutividade, uS/cm	78,6	43,8	43	14,8
Cor real, mg/L	102,2	139,2	98,5	23,7
Na, ppm	3,8	1,2	5,2	0,6
Ca, ppm	67	219,8	22,6	-
Fe, ppm	4,4	2,3	1,8	-
Mg, ppm	7,8	1,4	7,2	-
Al, ppm	28,3	9,1	4,5	-
Mn, ppm	0	0	0	-

5.1 Preparo das amostras de polpa

Conforme demonstrado no plano de trabalho (Figuras 3-6 do item 4), as amostras foram inicialmente caracterizadas conforme à seguir (Tabelas 2-5). Na Tabela 2 é apresentada a caracterização da polpa de celulose depurada utilizada para a Simulação 1.

Tabela 2: Caracterização da polpa depurada para a Simulação 1.

Alvura, % ISO	48,8
Número kappa	11,2
Viscosidade, dm ³ / kg	855

Na Tabela 3 é apresentada a caracterização da polpa de celulose depurada utilizada para a Simulação 2.

Tabela 3: Caracterização da polpa depurada para a simulação 2.

Alvura, % ISO	52,2
DQO, kg/tsa	594
Número kappa	9,6
Viscosidade, dm ³ / kg	868

Na Tabela 4 é apresentada a caracterização da polpa de celulose depurada utilizada para a Simulação 3.

Tabela 4: Caracterização da polpa depurada para a Simulação 3.

Número kappa	9,4
DQO após lavagem com água desmineralizada, kg/tsa	1,5
Viscosidade, dm ³ / kg	850

Na Tabela 5 apresentamos a caracterização da polpa de celulose depurada e lavada exaustivamente com água desmineralizada utilizada para a simulação 4.

Tabela 5: Caracterização da polpa depurada e lavada exaustivamente com água desmineralizada para a Simulação 4.

Número kappa	9,4
Viscosidade, dm ³ / kg	906

5.2 Métodos

Buscou-se um estudo em laboratório, com dados e parâmetros mais próximos possíveis aos utilizados no processo industrial, para verificar a influência da DQO do condensado na branqueabilidade da celulose e no consumo de cloro ativo, de acordo com uma sequência de branqueamento do tipo A/DEpDP. Para a realização das lavagens das polpas, pré-branqueadas e depuradas, foram utilizados condensados industriais da Suzano unidade Mucuri e também de duas outras fábricas do setor de Celulose, nos quais, serão denominadas de Fábricas A e B. Também foi realizado um estudo utilizando filtrado diluído e concentrado, coletados em lavadores DDW, para avaliar seu impacto na branqueabilidade da polpa celulósica. É importante ressaltar que o estudo poderá auxiliar na priorização dos investimentos fabris para melhoria da qualidade da celulose e redução dos custos de produção.

Todas as análises e sequências de branqueamento deste estudo foram realizadas no laboratório de desenvolvimento e pesquisa da Suzano na unidade de Mucuri.

Para as simulações de branqueamento (1, 2, 3 e 4) foi coletada amostra (5 kg) de polpa depurada da L2 Suzano Mucuri-BA sem a lavagem no equipamento DDW e determinado o teor seco da polpa. Procedeu-se a lavagem das amostras em laboratório com os diferentes condensados industriais e respeitando a proposição da simulação (1, 2, 3 ou 4). Posteriormente, partiu-se para a execução da sequência de branqueamento A/DEpDP, padrão da L2 da Suzano unidade Mucuri-BA.

5.2.1 Simulações de lavagem e branqueamento

As amostras de polpa depurada da L2 foram lavadas com os condensados industriais da Suzano unidade Mucuri-BA e das Fábricas A e B. Foram lavadas também com água desmineralizada e filtrado do pré-branqueamento. Após a etapa de lavagem da polpa com os três condensados industriais, água ou filtrados partiu-se para simulação em laboratório da sequência de branqueamento A/DEpDP.

Foram realizadas quatro simulações, sendo estas detalhadas à seguir.

5.2.1.1 Simulação 1

A primeira simulação de branqueamento foi realizada com quatro amostras, sendo que, cada amostra foi lavada com os seguintes filtrados: os condensados industriais da Suzano unidade Mucuri-BA, da Fábrica A, da Fábrica B e um condensado otimizado. Este condensado otimizado corresponde ao condensado da Suzano unidade Mucuri-BA diluído e ajustado para o menor valor da DQO encontrado entre os três condensados industriais da simulação, sendo no caso o condensado da Fábrica B (339,2 ppm).

5.2.1.2 Simulação 2

A segunda simulação foi procedida de forma similar à primeira, com três amostras e apenas eliminando a sequência do condensado otimizado.

5.2.1.3 Simulação 3

Na terceira simulação do branqueamento foram utilizadas duas amostras, utilizando-se para lavagem da primeira água desmineralizada e para a segunda o condensado industrial da Suzano unidade Mucuri-BA.

Inicialmente a polpa depurada foi lavada com água desmineralizada (fator de lavagem $35 \text{ m}^3/\text{tsa}$) para a máxima retirada da DQO. A polpa lavada com água desmineralizada foi separada em duas partes, sendo que, a primeira parte representou a primeira amostra, e a outra parte da polpa foi lavada com o condensado industrial da Suzano Mucuri, de forma a ser adicionado a DQO do condensado industrial nessa polpa.

5.2.1.4 Simulação 4

A quarta simulação foi procedida de forma similar à terceira, partindo-se de uma amostra de polpa da Suzano unidade Mucuri-BA lavada com fator de lavagem $35 \text{ m}^3/\text{tsa}$ com água desmineralizada para a máxima retirada da DQO.

Nesta simulação foram utilizadas três amostras. Para todas partiu-se de uma amostra de polpa lavada com água desmineralizada. A primeira amostra foi lavada com o condensado industrial da L2 da Suzano unidade Mucuri-BA, e as segunda e terceira amostras foram lavadas com filtrados provenientes do lavador DDW do

estágio de pré-branqueamento com oxigênio. Foi utilizado filtrado na forma diluído e concentrado para obtenção de dois níveis da DQO nas amostras.

5.2.2 Métodos

5.2.2.1 Lavagem da polpa depurada

Conforme demonstrado no plano de trabalho, cada amostra de 270 g a.s. (absolutamente seca), foi lavada, em laboratório, primeiramente com água desmineralizada, utilizando 4 etapas de lavagem na relação 7,5:1 e, posteriormente, com os condensados industriais, o otimizado e água quente em estudo, na relação 7,5:1.

5.2.2.2 Branqueamento da polpa depurada e lavada

Também conforme demonstrado no plano de trabalho, cada amostra de polpa depurada e lavada (amostras resultantes das simulações 1, 2, 3 e 4), foi submetida a uma sequência de branqueamento do tipo A/DEpDP, na qual para o primeiro estágio A/D foi utilizada uma quantidade de 270 g de polpa absolutamente seca. As polpas branqueadas no estágio A/D foram submetidas ao estágio Ep. Após este estágio de extração alcalina com peróxido de hidrogênio, cada amostra foi subdivida em 3 partes (denominadas 1º, 2º e 3º experimento) de 70 g a.s. para o branqueamento pelo estágio D em diferentes cargas de cloro ativo. A sequência de branqueamento foi finalizada, submetendo cada uma das amostras ao estágio P, sendo utilizada 65 g a.s. de polpa.

Todas as sequências de branqueamento foram realizadas em laboratório, segundo condições pré-estabelecidas (Tabela 6), sendo estas o mais próximo das aplicadas no processo industrial do branqueamento da L2 da Suzano unidade Mucuri.

Tabela 6: Condições da sequência de branqueamento A/DEpDP para as Simulações 1, 2, 3 e 4.

Condições		Estágios				
		A	D	Ep	D	P
pH		■ 3,3 ◆ x 3,1 ●	2,3	11,3	5,5	11,3
Temperatura (°C)		90	85	81	78	70
Tempo de Retenção (min)		112	15	71	112	112
Carga H ₂ SO ₄ (kg/tsa)		■ 6,0 ◆ x 6,5 ●	-	-	-	-
Carga NaOH (kg/tsa)		-	-	8,0	-	5,5
Carga H ₂ O ₂ (kg/tsa)		-	-	3,5	-	3,0
Carga cloro ativo (kg/tsa)	1º Experimento	-	■ 17 ◆ x 18 ● 16	-	■ 8 ◆ 8 x 6 ● 8	-
	2º Experimento	-	-	-	■ 11 ◆ 12 x 8 ● 10	-
	3º Experimento	-	-	-	■ 14 ◆ 16 x 10 ● 12	-
Fator de Lavagem (m ³ /tsa)		-	8,0	8,0	7,5	7,5
■ Simulação 1 ◆ Simulação 2 x Simulação 3 ● Simulação 4						

A polpa de celulose, em cada estágio de branqueamento, foi acomodada em saco plástico e mantida em banho-maria, com termostato para a manutenção da temperatura desejada. A lavagem, em cada estágio, foi realizada utilizando funil de Buckner com tela de 150 mesh e vácuo, com água desmineralizada. As polpas provenientes dos estágios de branqueamento efetuados na consistência de 10% foram desaguadas no funil de Buckner e lavadas por deslocamento, com o fator de lavagem equivalente ao pré-determinado. Foi efetuada a remoção de filtrado por vácuo no final da lavagem de forma a manter uma consistência de 12% na polpa lavada. No estágio subsequente adicionava-se água desmineralizada, suficientemente para manter a consistência da reação em 10%.

Para a lavagem da polpa após cada estágio da simulação do branqueamento foi utilizada água desmineralizada, com a finalidade de não haver interferência dos filtrados do processo industrial na análise do consumo de dióxido de cloro, e também foram utilizados os fatores de lavagem similares ao processo industrial da L2 Suzano Mucuri-BA.

Ao término de cada estágio do branqueamento procedeu-se a caracterização das amostras de polpa quanto a alvura, número kappa e viscosidade, e o filtrado quanto ao pH e residual de oxidante conforme as análises de controle em laboratório no processo industrial. Após o branqueamento pelo último estágio P realizou-se também a análise de reversão de alvura das amostras. As normas utilizadas, para os procedimentos analíticos são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7: Métodos analíticos utilizados para caracterização da polpa de celulose.

Parâmetro	Procedimento
Número kappa	Tappi Methods – T236 cm-85
Viscosidade	Tappi Methods – T230 om-94
Alvura	ISO 2469
DQO	Standard Method 5220 C
Reversão de alvura	CPPA E:4P
Metais	Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater 22ND Edition (2012) 3120 B – Inductively Coupled Plasma (ICP) Method.
Cor	Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater 22ND Edition (2012) 2120 C – Spectrophotometric Method
Metanol	EPA SW-846 – Method 8015 – Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography (using GC/FID)

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Delineamento de lavagem da polpa

Foi coletada amostra da polpa industrial depurada da L2 da Suzano unidade Mucuri-BA. Realizou-se um delineamento experimental para a lavagem da polpa, em laboratório, simulando uma eficiência equivalente à lavagem industrial, na qual é procedida em equipamento do tipo DDW. O delineamento foi realizado para que a DQO da polpa atingisse o valor típico da DQO da polpa na entrada do branqueamento industrial da L2 da Suzano unidade Mucuri-BA (aproximadamente 20 kg/tsa). Os resultados encontrados são dispostos na Tabela 8, sendo a condição de lavagem escolhida correspondente ao 6º delineamento, que representa cinco etapas de lavagem, das quais quatro com água desmineralizada e uma com condensado.

Tabela 8: Delineamento experimental para lavagem da polpa depurada.

Lavagem da Amostra da Polpa Depurada Linha 2 Relação de lavagem do condensado e da água desmineralizada (7,5/1)		DQO kg/tsa
1º delineamento	2 águas desmineralizadas; 1 condensado (3 lavagens)	32,0
2º delineamento	1 água desmineralizada; 1 condensado (2 lavagens)	34,8
3º delineamento	1/2 água desmineralizada; 1 condensado (1 1/2 lavagens)	37,3
4º delineamento	2 condensados (2 lavagens)	40,0
5º delineamento	3 águas desmineralizadas; 1 condensado (4 lavagens)	24,6
6º delineamento (*)	4 águas desmineralizadas; 1 condensado (5 lavagens)	24,4

(*) Delineamento utilizado para a lavagem da amostra e as simulações do branqueamento.

Após a lavagem de cada amostra mediu-se o valor da DQO da polpa, sendo estes apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Valores da DQO da polpa após etapa de lavagem em laboratório.

Simulação	Amostra	DQO
		kg/tsa
SIMULAÇÃO 1	Polpa lavada com condensado Suzano	24,7
	Polpa lavada com condensado Fábrica A	15,9
	Polpa lavada com condensado Fábrica B	16,8
	Polpa lavada com condensado otimizado	17,2
SIMULAÇÃO 2	Polpa lavada com condensado Suzano	28,0
	Polpa lavada com condensado Fábrica A	13,6
	Polpa lavada com condensado Fábrica B	16,0
SIMULAÇÃO 3	Polpa lavada com água desmineralizada	1,5
	Polpa lavada com condensado Suzano	14,5
SIMULAÇÃO 4	Polpa lavada com condensado Suzano	18,1
	Polpa lavada com filtrado do pré-branqueamento diluído	17,1
	Polpa lavada com filtrado do pré-branqueamento concentrado	26,3

6.2 Simulações

6.2.1 Simulação 1

6.2.1.1 Caracterização dos condensados

Na Figura 7 é apresentada a caracterização da DQO das amostras de condensado das Fábricas A, B, e Suzano. Ainda, foi realizada a quantificação do componente metanol das amostras de condensado. Para tal, a fim de quantificar a parcela de metanol que contribui para a DQO do condensado foi utilizado o valor teórico de DQO do metanol equivalente a 1420,0 mg/g (Kelsia, 2009).

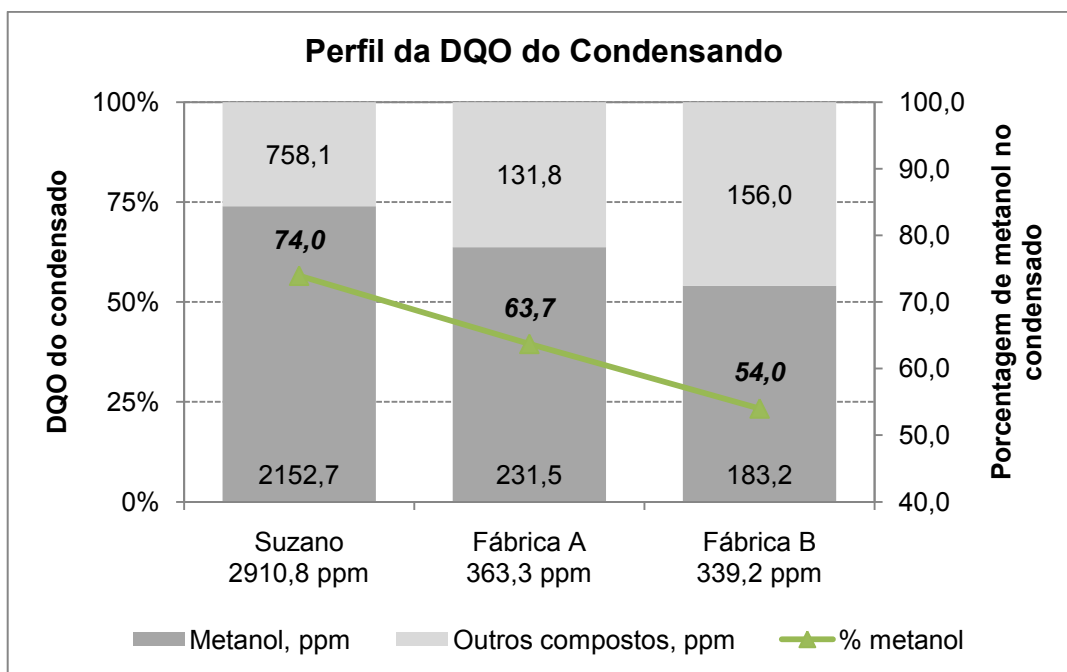


Figura 7: Caracterização da DQO dos condensados, e quantificação do componente metanol nas amostras.

Conforme observado, o valor da DQO da amostra de condensado da Suzano (2910,8 ppm) é cerca de oito vezes superior aos valores das Fábricas A e B (363,3 e 339,2 ppm, respectivamente). Após a caracterização desses valores da DQO foi realizada a quantificação de metanol, sendo verificado que para a amostra da Suzano aproximadamente 74,0% da DQO equivale a este componente. Quando comparada às demais fábricas, A e B, a quantidade de metanol na amostra do condensado da Suzano está na ordem de dez vezes superior.

De acordo com Viirimaa *et al.*, 2001, citados por Sankari *et al.*, 2004, os componentes lignina e metanol são os principais responsáveis pela DQO do condensado, e estes não contribuem negativamente para a branqueabilidade da polpa celulósica. Entretanto, outros compostos presentes no condensado podem afetar a branqueabilidade da polpa, podendo reduzir a alvura e aumentar o número kappa. Segundo Sankari *et al.*, 2004, compostos presentes no condensado e que podem impactar no branqueamento são: ácido acético, ácido propiônico, compostos enxofre, terpenos, ácidos resinosos e outros.

Ainda analisando os dados da Figura 7, verifica-se que outros compostos, além do metanol, representam uma elevada parcela da DQO do condensado da Suzano (758,1 ppm) contra valores cerca de cinco vezes inferiores nos condensados das Fábricas A e B (131,8 e 156,0 ppm, respectivamente).

Desse modo, foi observada diferença significativa na composição do condensado Suzano, quando comparado aos condensados das Fábricas A e B, podendo haver impactos na branqueabilidade da polpa celulósica. Esses impactos serão tratados a seguir, nas Simulações 1 e 2.

6.2.1.2 Consumo de Cloro Ativo

A tendência do consumo de cloro ativo acompanhou o perfil de DQO da polpa, no qual a polpa Suzano, com o maior valor de DQO (24,7 kg/tsa), foi a que apresentou maior consumo de cloro ativo (31,0 kg/tsa) para atingir uma alvura equivalente a 88,7 %ISO, conforme observado na Figura 8. Os dados, na íntegra, são apresentados no Anexo 2.

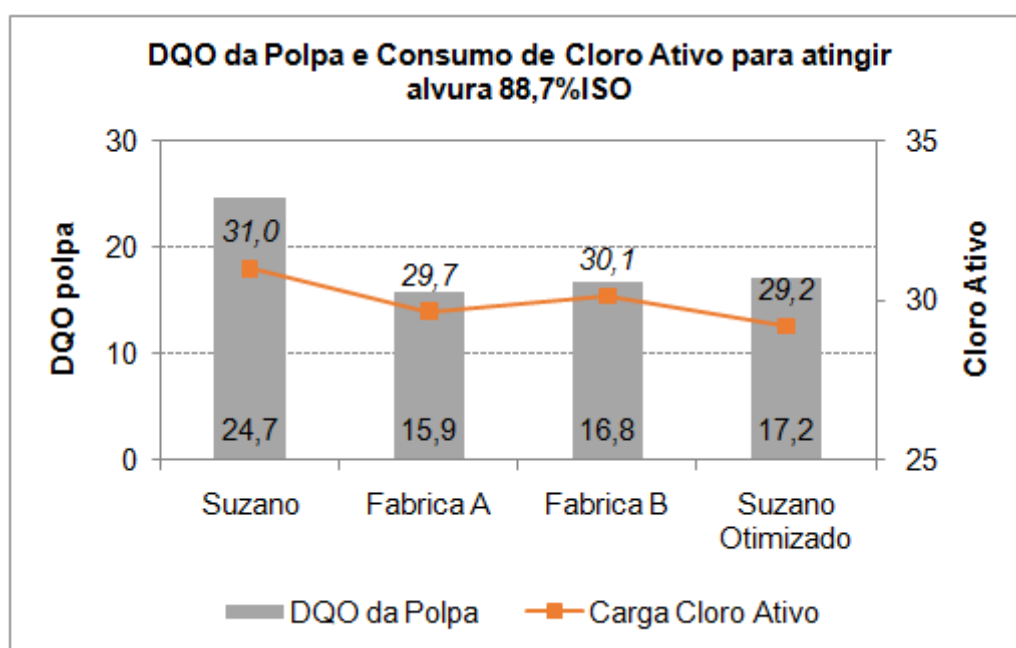


Figura 8: DQO da polpa e consumo de cloro ativo das amostras Suzano, Suzano otimizada e Fábricas A e B para atingir uma alvura de 88,7 %ISO.

Na Figura 9 é observada a diferença (redução) de consumo de cloro ativo para as amostras Suzano otimizada e Fábricas A e B, em relação à amostra Suzano, para atingir uma alvura final da polpa equivalente à 88,7 %ISO. Vale lembrar que a polpa Suzano, usada como referência nessa interpretação, foi lavada com um condensado apresentando alto valor de DQO (2910,8 ppm), e que possui,

consequentemente, o maior valor de DQO da polpa na entrada do branqueamento (24,7 kg/tsa). Nesse sentido, foi verificada redução no consumo de cloro ativo equivalente a 1,3; 0,9 e 1,8 kg/tsa para as amostras da Fábrica A, B e Suzano otimizada, respectivamente. Desse modo, é sugerido que um ajuste no valor da DQO do condensado, a um nível equivalente ao praticado em outras fábricas do setor (aproximadamente 200 ppm), pode refletir em uma redução de até 1,8 kg/tsa no consumo de cloro ativo no branqueamento.

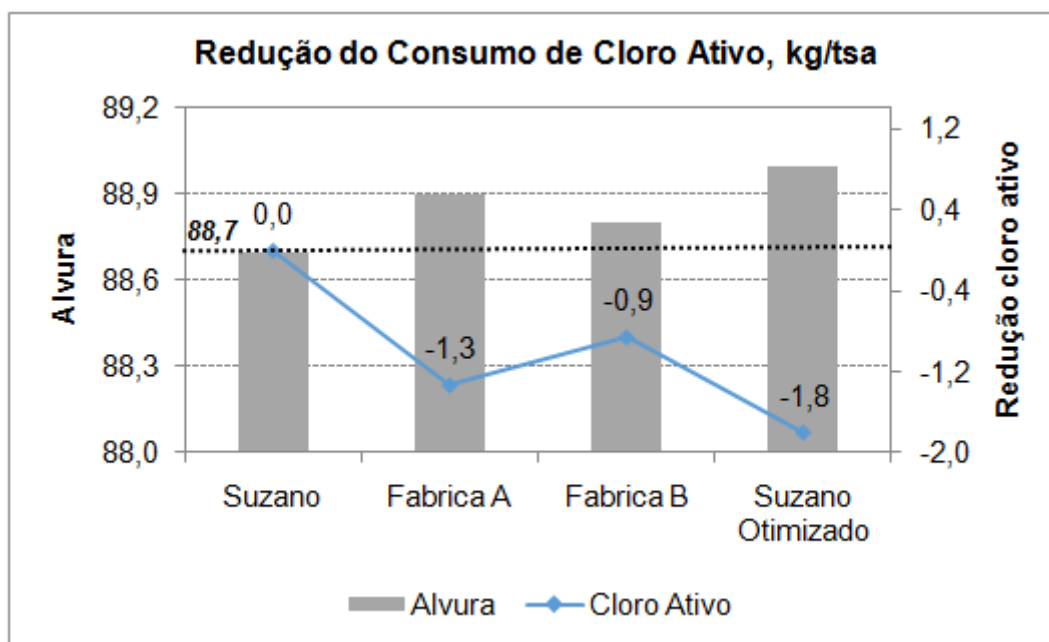


Figura 9: Redução do consumo de cloro ativo das amostras Suzano otimizada e Fábricas A e B em relação à amostra Suzano, para atingir uma alvura de 88,7 %ISO.

6.2.1.3 Branqueabilidade das Polpas

6.2.1.3.1 Número kappa

A Figura 10A apresenta o perfil de número kappa das polpas celulósicas no estágio Ep, e também expõe os valores da DQO da polpa na entrada do branqueamento. Conforme observado, a amostra Suzano apresenta o maior valor de número kappa (4,3), quando comparado aos valores das demais polpas: Suzano otimizada, Fábricas A e B (4,1; 3,9 e 3,8; respectivamente). Um maior valor de número kappa reflete em um maior consumo de químicos no branqueamento. Desse modo, a amostra Suzano, com maior DQO do condensado e da polpa, demonstrou

maior dificuldade de branqueabilidade, quando comparada às amostras Suzano otimizada e Fábricas A e B.

De acordo com a Figura 10B pode-se influir que 74,97% da variação do número kappa da polpa no estágio Ep pode ser explicada pela DQO da polpa na entrada do branqueamento. Vale ressaltar que este valor da DQO da polpa é influenciado pelo valor da DQO do condensado.

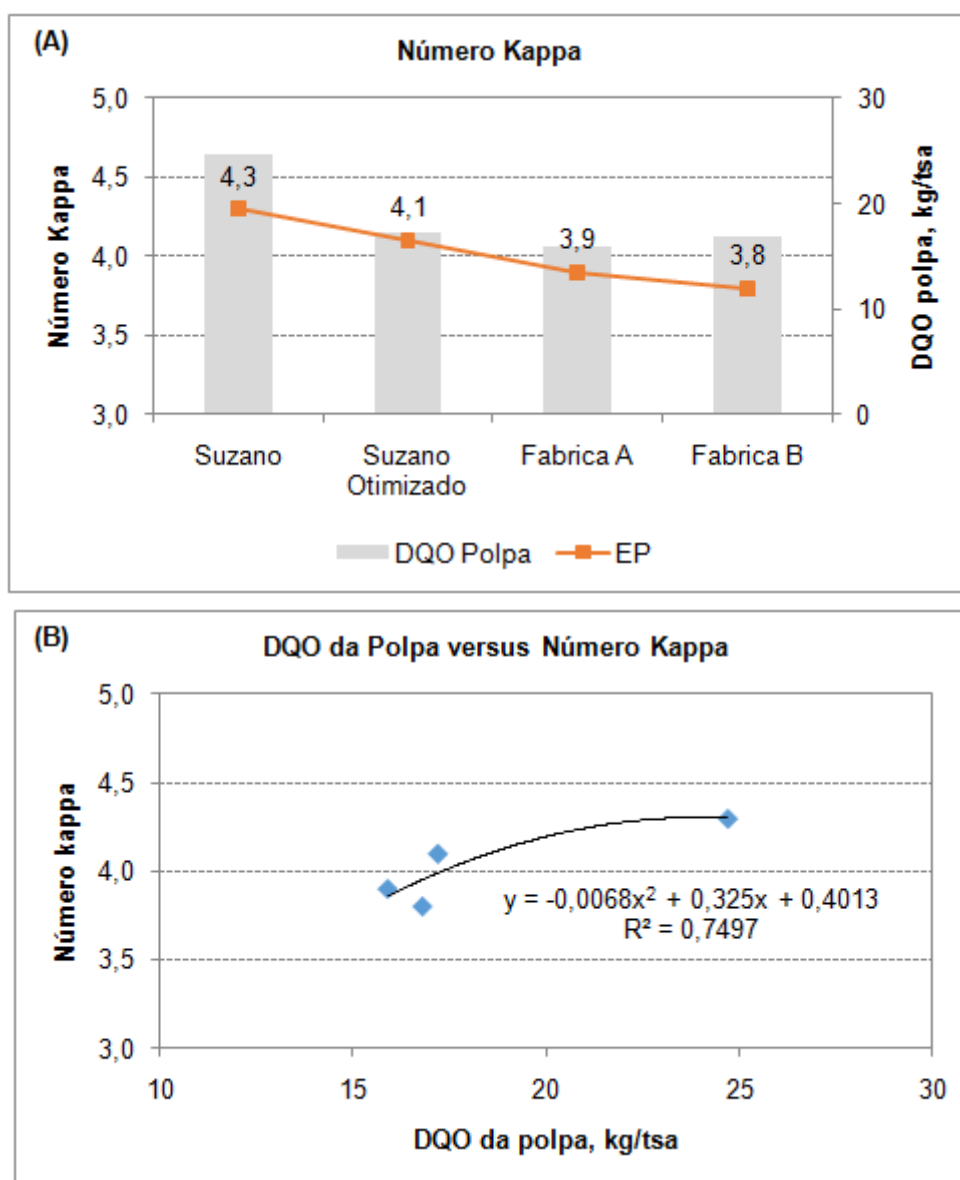


Figura 10: (A) Perfil de número kappa, no estágio Ep, e DQO das polpas celulósicas na entrada do branqueamento das amostras Suzano, Suzano otimizada e Fábricas A e B; (B) Relação entre a DQO na entrada do branqueamento e o número kappa das polpas celulósicas no estágio Ep.

6.2.1.3.2 Alvura

A Figura 11 apresenta o perfil de alvura (% ISO) das polpas celulósicas das amostras Suzano, Suzano otimizada e Fábricas A e B na sequência de branqueamento A/DEpDP. No estágio D foram utilizadas diferentes cargas de cloro ativo (T1= 8,0, T2= 11,0 e T3= 14,0 kg/tsa) a fim de avaliar o impacto na branqueabilidade das polpas.

Como visualizado na Figura 11A, no primeiro estágio de branqueamento (A/D) a amostra lavada com condensado Suzano, e que possui maior valor da DQO (24,7 kg/tsa), foi a que apresentou menor valor de alvura, demonstrando maior dificuldade no branqueamento, uma vez que a mesma carga de cloro ativo foi utilizada para todas as amostras (17 kg/tsa).

Nos estágios A/D e Ep (Figuras 6A-B) destaca-se a amostra Suzano otimizada, no quais em ambos o valor de alvura sobressaiu em relação às demais analisadas.

Como previsto, o aumento de alvura foi proporcional ao aumento da carga de cloro ativo, nos tratamentos T1, T2 e T3, para todas as amostras avaliadas. O T3 mostrou-se o mais adequado a todas as amostras, visto que para os demais não foi obtida alvura superior a 88,5 % ISO.

Desse modo, de acordo com os resultados da Figura 11, foi observado que a maior DQO da polpa, oriunda da DQO do condensado, interferiu efetivamente nos dois primeiros estágios de branqueamento (A/D e Ep), entretanto, não foi pronunciada nos dois últimos estágios (D e P).

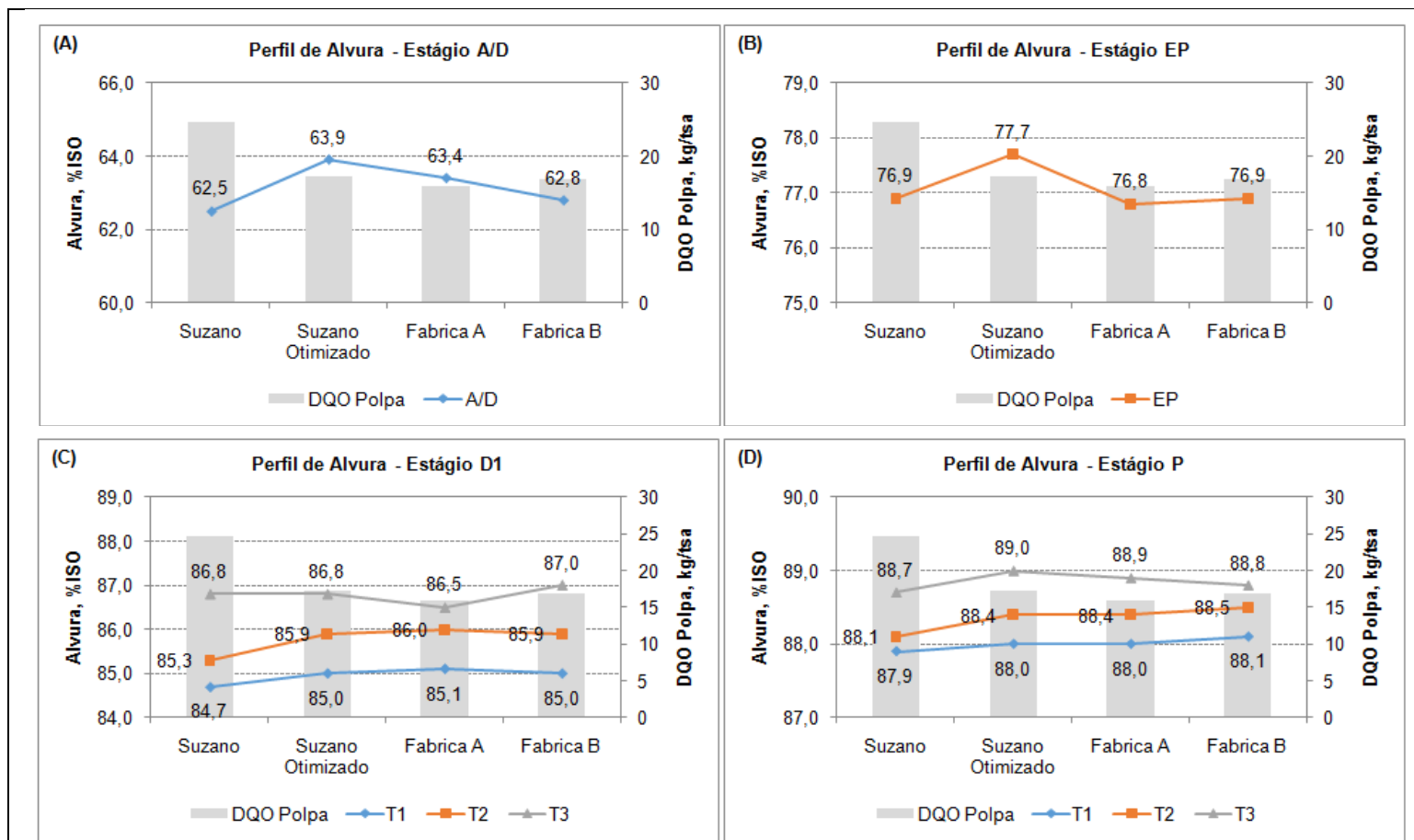


Figura 11: Perfil de alvura das polpas celulósicas das amostras Suzano, Suzano otimizada e Fábricas A e B nos estágios: **(A)** A/D; **(B)** Ep; **(C)** D, no qual T1= 8,0, T2= 11,0 e T3= 14,0 kg/tsa de cloro ativo; e **(D)** P, no qual T1= 8,0, T2= 11,0 e T3= 14,0 kg/tsa de cloro ativo no estágio D.

6.2.1.3.3 Viscosidade

A Figura 12 apresenta o perfil de viscosidade das polpas celulósicas nos estágios Ep e ao final do branqueamento (estágio P), para as amostras de polpa Suzano, Suzano otimizada e Fábricas A e B.

Como verificado é percebida discreta diferença nos valores de viscosidade para as diferentes amostras em cada tratamento. Desse modo, a variação da DQO da polpa parece não influenciar nos valores de viscosidade da polpa. Esses resultados estão de acordo com a literatura (Viirimaa *et al.*, 2002; Sankari *et al.*, 2004)

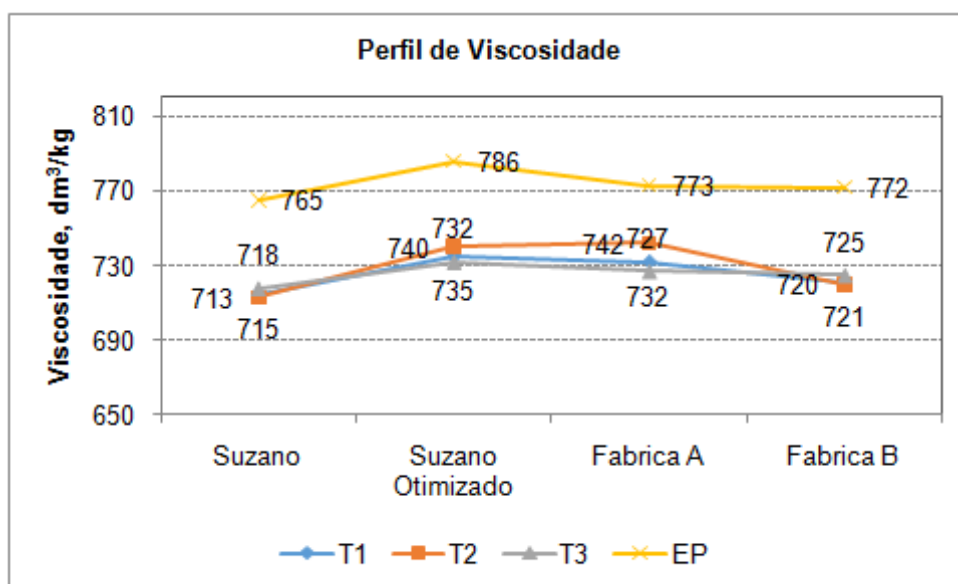


Figura 12: Perfil de viscosidade, nos estágios Ep e P, e DQO das polpas celulósicas para as amostras Suzano, Suzano otimizada e Fábricas A e B; no qual T1= 8,0, T2= 11,0 e T3= 14,0 kg/tsa de cloro ativo no estágio D.

6.2.1.3.4 Reversão de Alvura

A Figura 13 mostra o perfil de reversão de alvura das polpas celulósicas ao final do branqueamento (estágio P), para as amostras de polpa Suzano, Suzano otimizada e Fábricas A e B.

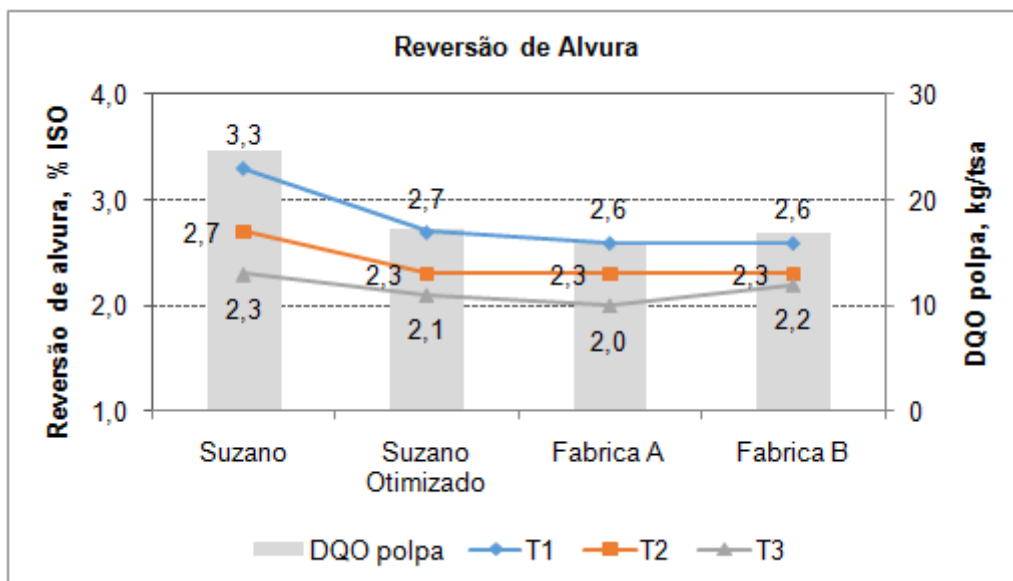


Figura 13: Perfil de reversão de alvura e DQO das polpas celulósicas das amostras Suzano, Suzano otimizada e Fábricas A e B; no qual T1= 8,0, T2= 11,0 e T3= 14,0 kg/tsa de cloro ativo no estágio D.

Conforme observado, a amostra Suzano apresenta o maior valor de reversão de alvura (3,3), quando comparado aos valores das demais polpas: Suzano otimizada, Fábricas A e B (2,7; 2,6 e 2,6; respectivamente), no T3, ou seja, quando foi utilizada maior carga de cloro ativo no estágio D (14,0 kg/tsa). Quando foi utilizada menor carga de cloro ativo, T1 e T2, os valores de reversão de alvura foram maiores, entretanto, com estes tratamentos a alvura final obtida para as polpas foi inferior à 88,5% ISO, valor aquém ao desejado comercialmente (89-90% ISO).

Diante ao exposto é prudente afirmar que menores valores da DQO da polpa na entrada do branqueamento geraram polpas com maior estabilidade de alvura.

6.2.2 Simulação 2

6.2.2.1 DQO do condensado versus DQO da polpa

A Figura 14A apresenta os valores da DQO das amostras de condensado da Suzano e Fábricas A e B e os respectivos valores da DQO das polpas lavadas com as respectivas amostras de condensado. Como observado, a amostra de polpa Suzano, que foi lavada com o condensado de maior valor de DQO (2909,8 ppm) apresentou também, maior valor da DQO na entrada do branqueamento, em comparativo aos valores das Fábricas A e B.

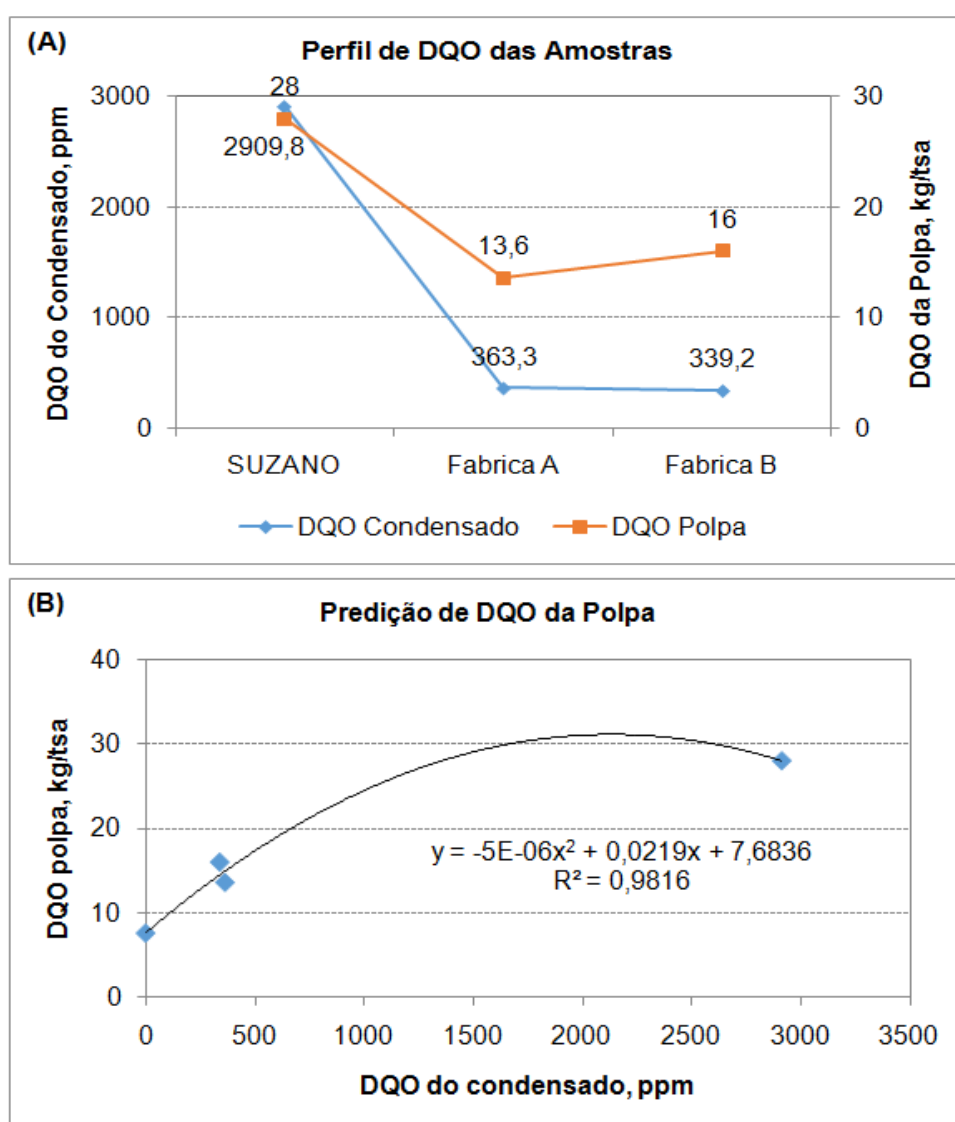


Figura 14: (A) Perfil da DQO das amostras de condensado da Suzano e Fábricas A e B e valores da DQO das polpas lavadas na entrada do branqueamento; (B) Relação entre a DQO da polpa na entrada do branqueamento e a DQO do condensado utilizado para lavagem preliminar dessa polpa.

Na Figura 14B é mostrada a relação entre a DQO da polpa na entrada do branqueamento e a DQO do condensado utilizado para lavagem preliminar desta. Conforme observado, 98,16% da variação da DQO da polpa pode ser explicada pela DQO do condensado aplicado na lavagem dessa polpa. Desse modo, existe correlação significativa entre os valores da DQO do condensado com a DQO da polpa, podendo, a partir da DQO do condensado prever a DQO da polpa na entrada do branqueamento. O modelo de predição pode ser representado pela seguinte equação:

$$DQO_{polpa} = -5E-06(DQO_{condensado})^2 + 0,0219(DQO_{condensado}) + 7,6836$$

6.2.2.2 Consumo de Cloro Ativo

A tendência do consumo de cloro ativo acompanhou o perfil de DQO da polpa, no qual a polpa Suzano, com o maior valor de DQO (28,0 kg/tsa), foi a que apresentou maior consumo de cloro ativo (34,0 kg/tsa) para atingir uma alvura equivalente a 90,0 %ISO, conforme observado na Figura 15. Os dados, na íntegra, são apresentados no Anexo 3.

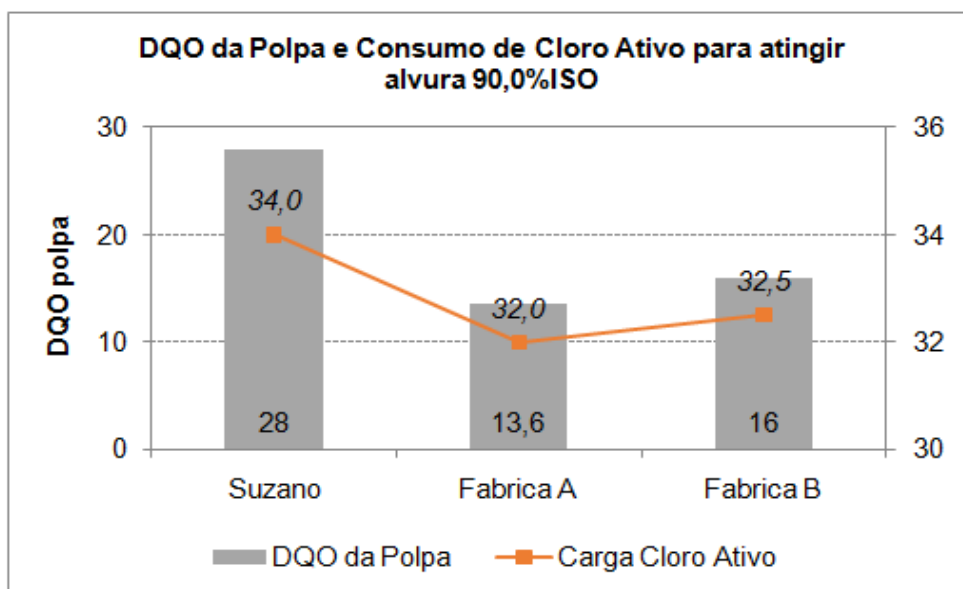


Figura 15: DQO da polpa e consumo de cloro ativo das amostras Suzano e Fábricas A e B para atingir uma alvura de 90,0 %ISO.

Na Figura 16 é observada a diferença (redução) de consumo de cloro ativo para as amostras das Fábricas A e B, em relação à amostra Suzano, para atingir uma alvura final da polpa equivalente à 90,0 %ISO. Vale lembrar que a polpa Suzano, usada como referência nessa interpretação, foi lavada com um condensado apresentando alto valor de DQO (2910,8 ppm), e que possui, conseqüentemente, o maior valor de DQO da polpa na entrada do branqueamento (28,0 kg/tsa). Nesse sentido, foi verificada redução no consumo de cloro ativo equivalente a 2,0 e 1,5 kg/tsa para as amostras das Fábricas A e B, respectivamente. Desse modo, é sugerido que um ajuste no valor da DQO do condensado, a um nível equivalente ao praticado em outras fábricas do setor (aproximadamente 200 ppm), pode refletir em uma redução de até 2,0 kg/tsa no consumo de cloro ativo no branqueamento.

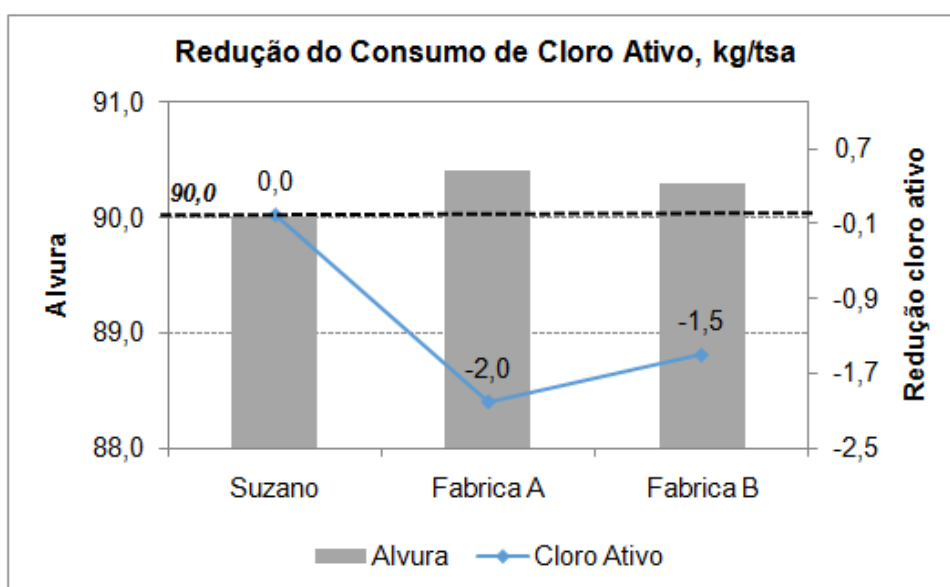


Figura 16: Redução do consumo de cloro ativo das amostras das Fábricas A e B em relação à amostra Suzano, para atingir uma alvura de 90,0 %ISO.

6.2.2.3 Branqueabilidade das Polpas

6.2.2.3.1 Número kappa

A Figura 17 apresenta o perfil de número kappa das polpas celulósicas no estágio Ep, e também mostra os valores da DQO da polpa na entrada do branqueamento. Conforme observado, a amostra Suzano apresentou maior valor de número kappa (2,4), quando comparado aos valores das polpas das Fábricas A e B (1,9 para ambas).

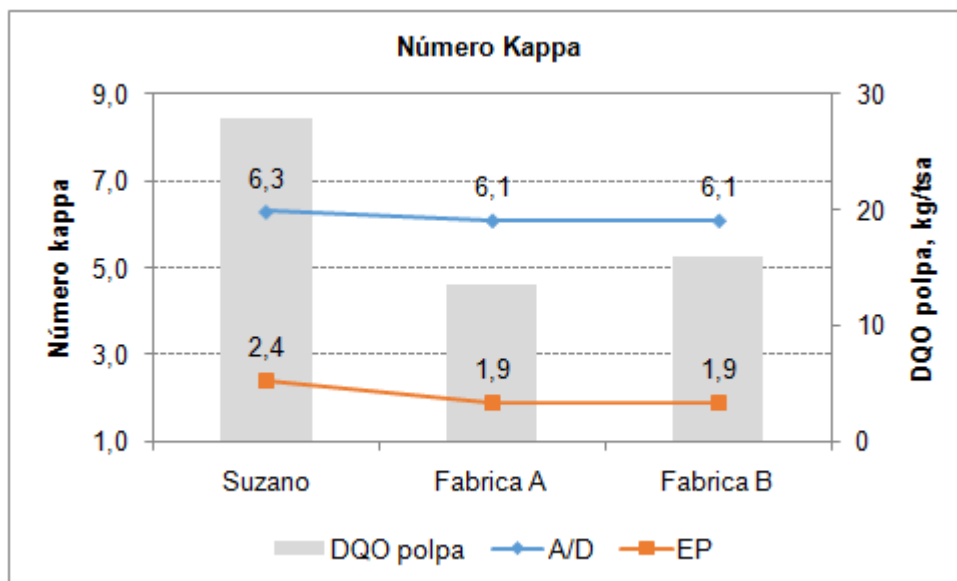


Figura 17: Perfil de número kappa no estágio Ep e DQO das polpas celulósicas na entrada do branqueamento das amostras Suzano e Fábricas A e B.

6.2.2.3.2 Alvura

A Figura 18 apresenta o perfil de alvura (% ISO) das polpas celulósicas das amostras Suzano e Fábricas A e B na sequência de branqueamento A/DEpDP. No estágio D foram utilizadas diferentes cargas de cloro ativo (T1= 8,0, T2= 12,0 e T3= 16,0 kg/tsa) a fim de avaliar o impacto na branqueabilidade das polpas.

Como vimos, na Simulação 2, a carga de cloro ativo aplicada no primeiro estágio (A/D) foi de 18,0 kg/tsa, o que representa o valor de 1,0 kg/tsa superior ao utilizado na Simulação 1. Tal alteração foi realizada devido à preliminar dificuldade de branqueamento das polpas, apresentada no item anterior, no qual a alvura máxima atingida foi de 89,0 %ISO, mesmo utilizando carga máxima de cloro ativo de 31 kg/tsa.

Tal como na Simulação 1, nos dois últimos estágios (D e P), Figuras 18C-D, uma menor diferença no valor de alvura pode ser percebida para as amostras analisadas. O aumento de alvura foi proporcional ao aumento da carga de cloro ativo, nos tratamentos T1, T2 e T3, para todas as amostras avaliadas. No T3 foram alcançados valores de alvura equivalente a 90,4 % ISO, quando foi utilizada uma carga total de 34 kg/tsa de cloro ativo.

Vale ressaltar que o T2, utilizando uma carga total de 30 kg/tsa de cloro ativo, propiciou aquisição de alvura semelhante ao T3 da Simulação 1, na qual foi utilizada uma carga de 31 kg/tsa de cloro ativo. Advertindo que na Simulação 2 houve aumento na carga de cloro ativo no primeiro estágio em relação à Simulação 1, mesmo assim houve redução no consumo total de cloro ativo, para aquisição de mesmo valor de alvura da polpa. Esse fato demonstra que para as amostras analisadas um aumento na carga de cloro ativo no primeiro estágio de branqueamento (A/D) é mais efetivo para o ganho de alvura final da polpa.

Assim, com os resultados da Figura 18, nota-se um maior incremento de alvura, nos estágios A/D e Ep, para as polpas com menor valor da DQO.

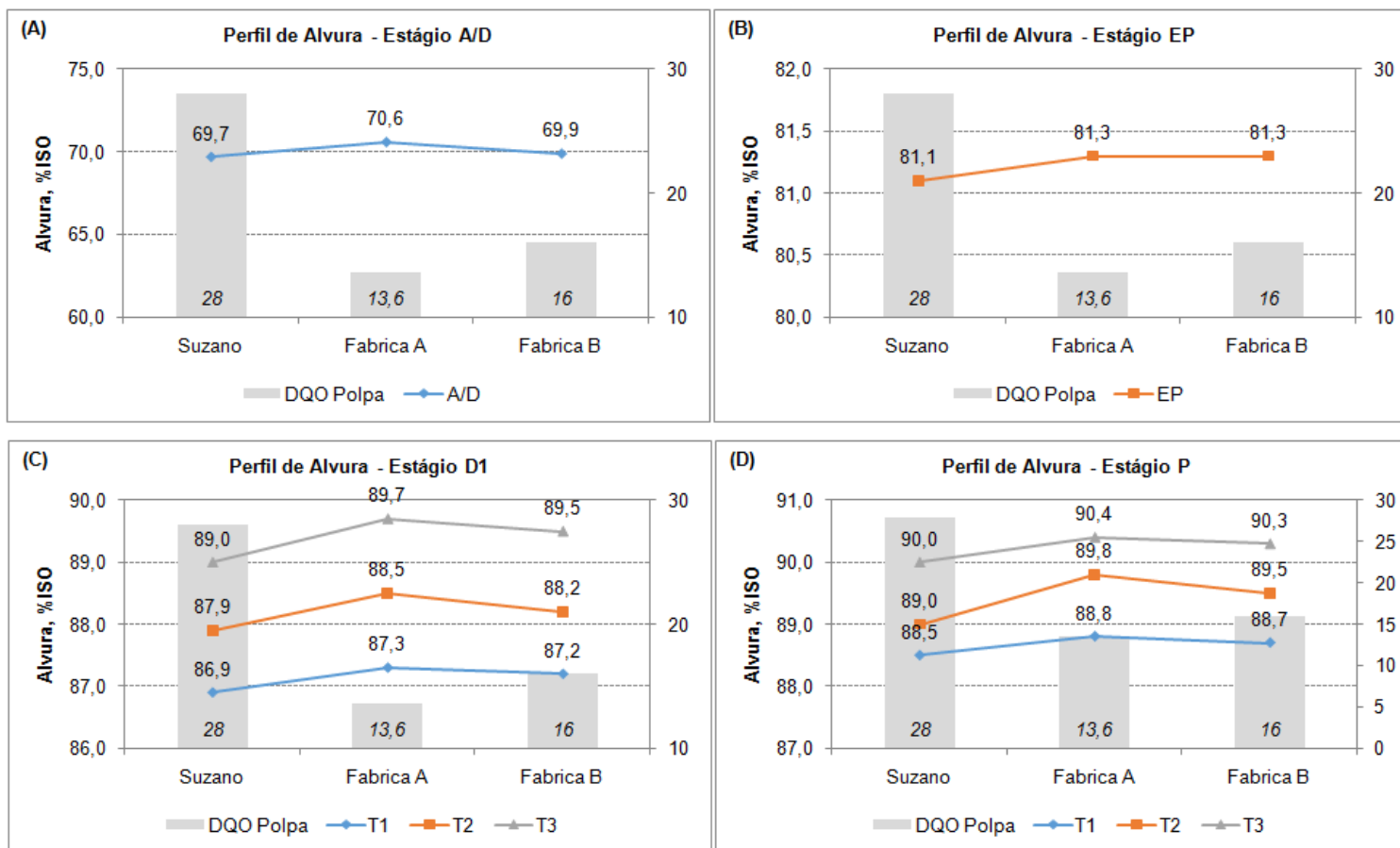


Figura 18: Perfil de alvura das polpas celulósicas das amostras Suzano e Fábricas A e B nos estágios: **(A)** A/D; **(B)** Ep; **(C)** D, no qual T1= 8,0, T2= 12,0 e T3= 16,0 kg/tsa de cloro ativo; e **(D)** P, no qual T1= 8,0, T2= 12,0 e T3= 16,0 kg/tsa de cloro ativo no estágio D.

6.2.2.3.3 Viscosidade

Na Figura 19 vimos os valores de viscosidade das polpas celulósicas nos estágios Ep e ao final do branqueamento (estágio P), para as amostras de polpa Suzano e Fábricas A e B. De acordo com os resultados existe uma discreta diferença nos valores de viscosidade para as amostras em cada tratamento. Apenas no tratamento T3, no qual é utilizada maior carga de cloro ativo (16,0 kg/tsa), verifica-se significativa redução da viscosidade (redução considerada quando avaliada a viscosidade final da polpa em relação à viscosidade do estágio Ep). Por outro lado, no T3 uma elevada redução de viscosidade é percebida em todas as amostras, não havendo distinção entre as amostras Suzano e Fábricas A e B.

Desse modo, tal como na Simulação 1, e coerente à literatura (Viirimaa *et al.*, 2002; Sankari *et al.*, 2004), a DQO do condensado de lavagem e, conseqüentemente, a DQO da polpa, parece não afetar no parâmetro viscosidade. Uma maior redução de viscosidade parece estar mais relacionada ao expressivo aumento na carga de cloro ativo.

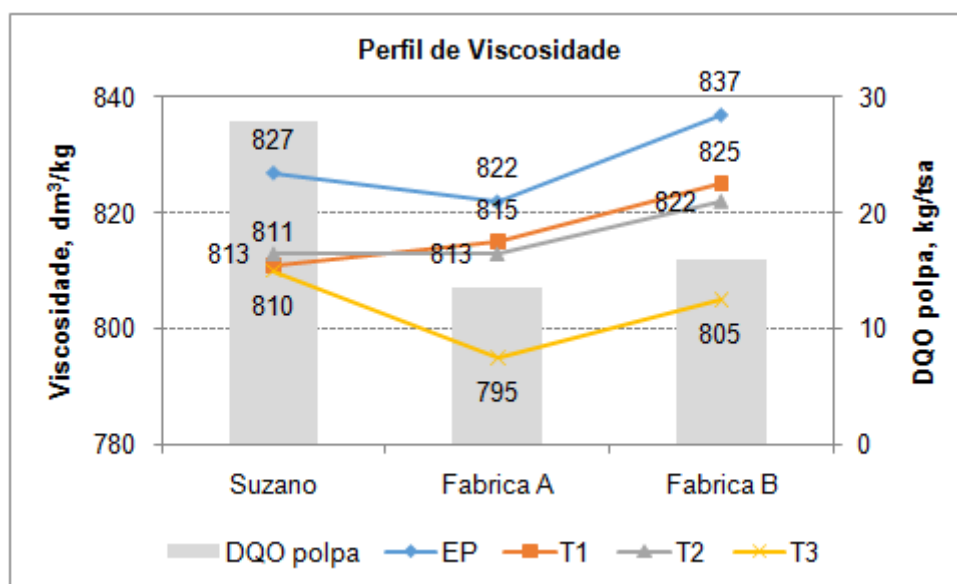


Figura 19: Perfil de viscosidade, nos estágios Ep e P, e DQO das polpas celulósicas para as amostras Suzano e Fábricas A e B; no qual T1= 8,0, T2= 12,0 e T3= 16,0 kg/tsa de cloro ativo no estágio D.

6.2.2.3.4 Reversão de Alvura

A Figura 20 expõe o perfil de reversão de alvura das polpas celulósicas ao final do branqueamento (estágio P), para as amostras de polpa Suzano e Fábricas A e B e Suzano.

Como observado, a amostras Suzano apresentou o maior valor de reversão de alvura (2,7), quando comparada aos valores das polpas das Fábricas A e B (2,0 para ambas), no T1 (carga de cloro ativo de 8,0 kg/tsa no estágio D).

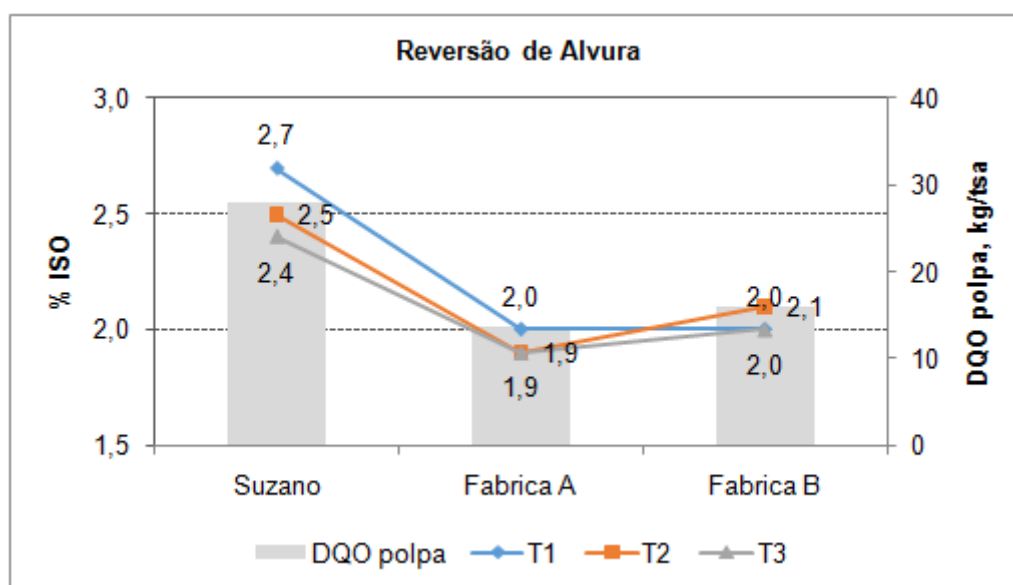


Figura 20: Perfil de reversão de alvura e DQO das polpas celulósicas das amostras Suzano e Fábricas A e B; no qual T1= 8,0, T2= 12,0 e T3= 16,0 kg/tsa de cloro ativo no estágio D.

6.2.3 Simulação 3

6.2.3.1 Consumo de Cloro Ativo

Conforme observado, Figuras 21-22, a lavagem da polpa com água desmineralizada, além de contribuir para a redução da DQO da polpa na entrada do branqueamento, promoveu significativa redução no consumo de cloro ativo, quando comparada à amostra de polpa lavada com o condensado secundário. Foi verificada uma redução no consumo de cloro ativo, equivalente a 1,7 kg/tsa, para atingir um valor de alvura de 89,8 %ISO. Os dados, na íntegra, são apresentados no Anexo 4.

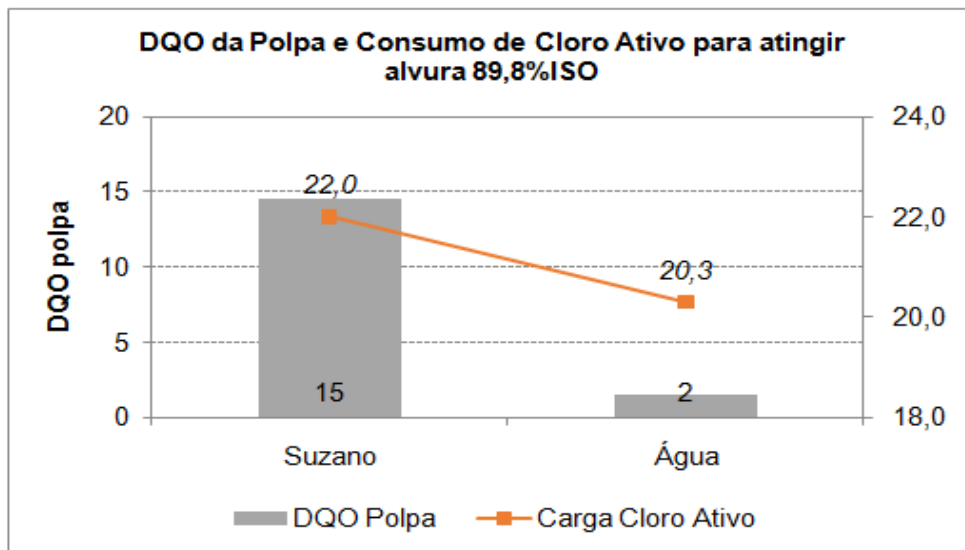


Figura 21: DQO da polpa e consumo de cloro ativo das amostras Suzano e lavada com água desmineralizada para atingir uma alvura de 89,8 %ISO.

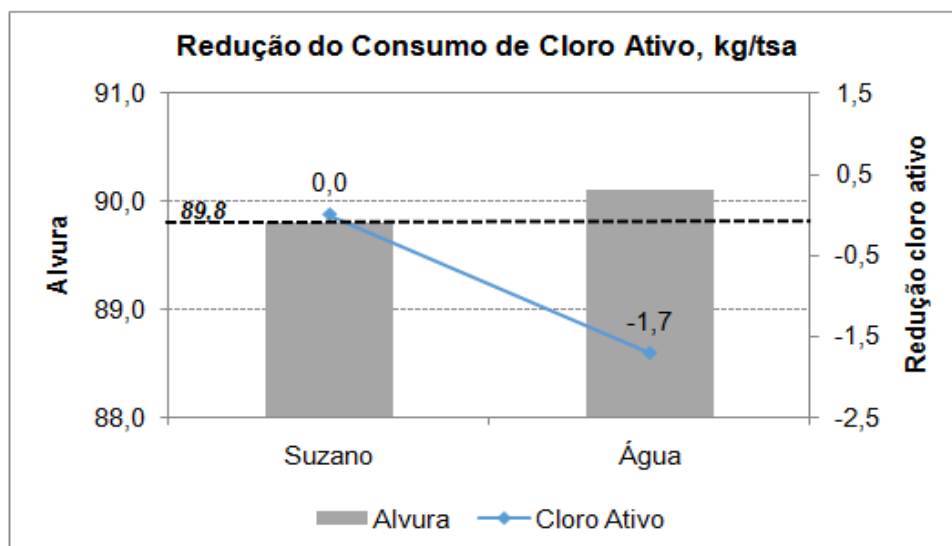


Figura 22: Redução no consumo de cloro ativo da amostras lavada com água desmineralizada em relação à amostra Suzano, para atingir uma alvura de 89,8 %ISO.

6.2.3.2 Branqueabilidade das Polpas

6.2.3.2.1 Número kappa

A Figura 23 expõe o perfil de número kappa das polpas celulósicas no estágio Ep e da DQO da polpa na entrada do branqueamento, para as amostras lavadas com condensado e com água desmineralizada.

Como observado, a lavagem da polpa com água desmineralizada, em substituição ao condensado secundário da planta de evaporação, promoveu redução na ordem de 9,6 vezes, do valor da DQO da polpa na entrada do branqueamento, passando este de 14,5 para 1,5 kg/tsa, para as amostras lavadas com condensado e água desmineralizada, respectivamente.

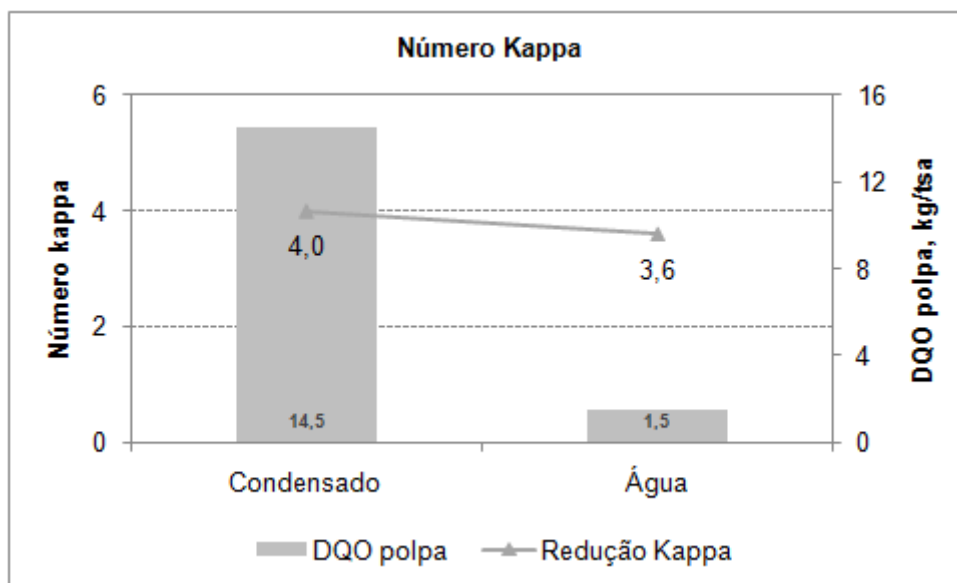


Figura 23: Perfil de número kappa no estágio Ep e DQO das polpas celulósicas na entrada do branqueamento das amostras lavadas com condensado e com água desmineralizada.

A redução do valor da DQO da polpa na entrada do branqueamento, promovida pela lavagem com água desmineralizada, refletiu em redução do número kappa da polpa no estágio Ep. Esta redução foi estimada em 10%, na qual o número kappa passou de 4,0, quando a polpa foi lavada com condensado, para 3,6, quando a polpa foi lavada com água desmineralizada.

Desse modo, pode-se afirmar que a DQO do condensado influencia na DQO da polpa e, conseqüentemente, na branqueabilidade da polpa celulósica.

6.2.3.2.2 Alvura

A Figura 24 apresenta o perfil de alvura (% ISO) das polpas celulósicas das amostras lavadas com condensado e com água desmineralizada na sequência de branqueamento A/DEpDP. No estágio D foram utilizadas diferentes cargas de cloro

ativo (T1= 6,0, T2= 8,0 e T3= 10,0 kg/tsa) a fim de avaliar o impacto na branqueabilidade das polpas.

Conforme os dados dos gráficos da Figura 24, em todos os estágios da sequência de branqueamento utilizada houve redução de alvura para a polpa celulósica lavada com condensado da evaporação, em relação à polpa lavada com água desmineralizada (35 m³/tsa). No primeiro estágio (A/D) houve redução de alvura equivalente a 2,03%. No segundo estágio (Ep) a redução de alvura foi menos acentuada se comparada ao primeiro estágio, sendo o valor de redução equivalente a 1,08%. Nos dois últimos estágios (D e P) menor redução no valor de alvura foi verificada, constatando uma redução máxima de 0,67%.

Desse modo, foi observado que a maior DQO da polpa, oriunda da DQO do condensado, interferiu efetivamente em todos os estágios do branqueamento, sendo mais pronunciada nos dois primeiros estágios (A/D e Ep).

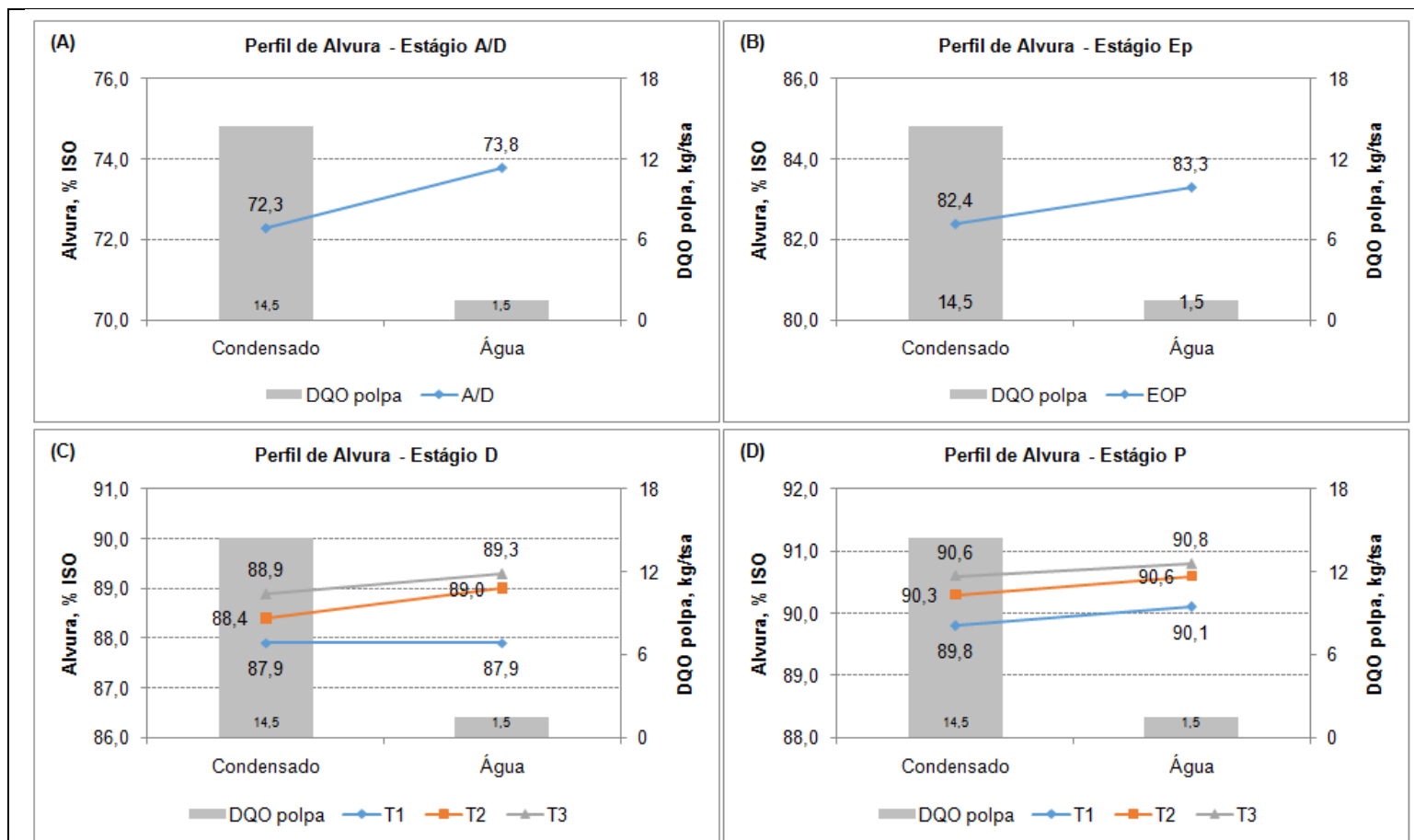


Figura 24: Perfil de alvura das polpas celulósicas lavadas com condensado e com água desmineralizada nos estágios: **(A)** A/D; **(B)** Ep; **(C)** D, no qual T1= 6,0, T2= 8,0 e T3= 10,0 kg/tsa de cloro ativo; e **(D)** P, no qual T1= 6,0, T2= 8,0 e T3= 10,0 kg/tsa de cloro ativo no estágio D.

6.2.3.2.3 Viscosidade

A Figura 25 apresenta o perfil de viscosidade das polpas celulósicas nos estágios Ep e ao final do branqueamento (estágio P), para as amostras de polpa lavadas com condensado e com água desmineralizada.

Conforme observado, houve discreta diferença nos valores de viscosidade para as diferentes amostras de polpa celulósica, em cada tratamento. Assim, a variação da DQO da polpa, advinda da DQO do condensado, parece não influenciar nos valores de viscosidade da polpa. Esses resultados estão de acordo com as simulações anteriores (Simulações 1 e 2) e com a literatura (Viirimaa *et al.*, 2002; Sankari *et al.*, 2004).

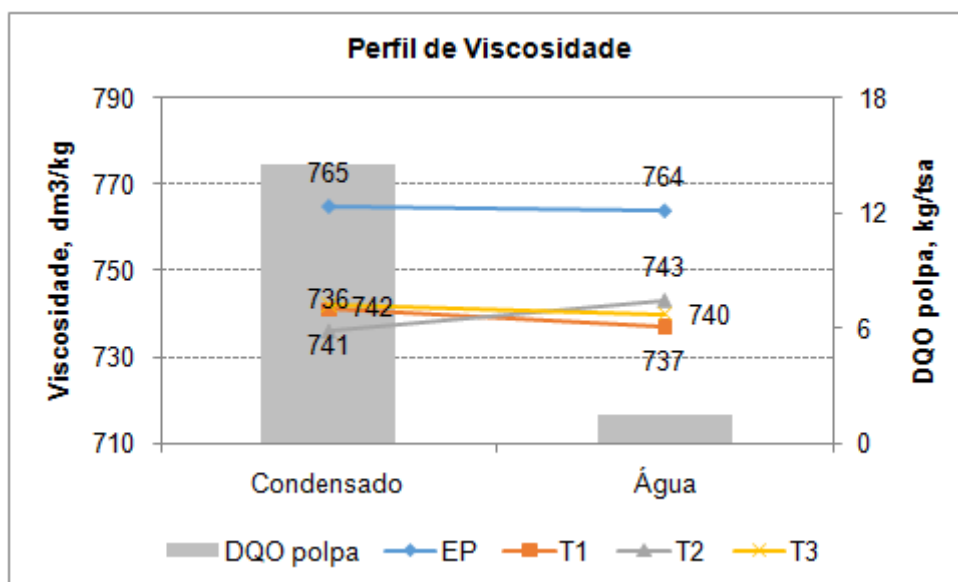


Figura 25: Perfil de viscosidade, nos estágios Ep e P, e DQO das polpas celulósicas para as amostras lavadas com condensado e água desmineralizada; no qual T1= 6,0, T2= 8,0 e T3= 10,0 kg/tsa de cloro ativo no estágio D.

6.2.3.2.4 Reversão de Alvura

A Figura 26 apresenta o parâmetro reversão de alvura das polpas celulósicas ao final do branqueamento (estágio P), para as amostras de polpa lavadas com condensado e com água desmineralizada.

Como visualizado, a amostra lavada com água desmineralizada e que apresenta, desse modo, menor valor da DQO da polpa tem o menor valor de reversão de alvura, quando comparado aos valores da polpa lavada com

condensado, em todos os tratamentos (T1, T2 e T3, utilizando carga de cloro ativo no estágio D de 6,0, 8,0 e 10,0 kg/tsa, respectivamente).

Desse modo, foi observado que o menor valor da DQO da polpa, conseguido com lavagem da polpa com água desmineralizada (livre da influência da DQO do condensado) refletiu em maior estabilidade de alvura da polpa ao final do branqueamento.

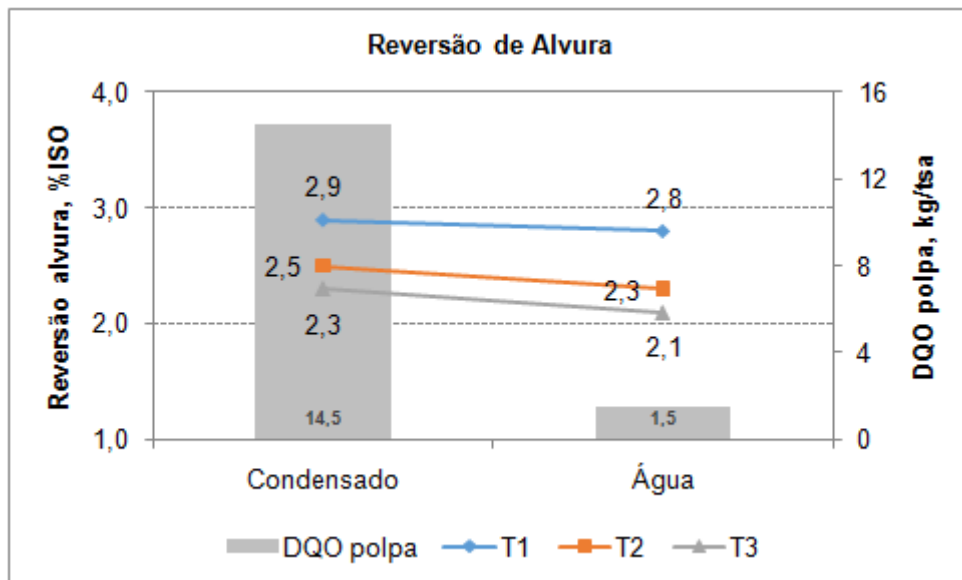


Figura 26: Perfil de reversão de alvura e DQO das polpas celulósicas das amostras lavadas com condensado e água desmineralizada; no qual T1= 6,0, T2= 8,0 e T3= 10,0 kg/tsa de cloro ativo no estágio D.

6.2.4 Simulação 4

6.2.4.1 Consumo de Cloro Ativo

Conforme observado, Figuras 27 e 28, a lavagem da polpa com filtrados dos lavadores DDW refletiu significativamente para o aumento do consumo de cloro ativo na etapa de branqueamento. Para atingir uma alvura final de 89,0 %ISO, a demanda de cloro ativo para a polpa lavada com condensado foi de 24,0 kg/tsa. Por outro lado, a demanda de cloro ativo para as polpas lavadas com os filtrados diluído e concentrado foi equivalente a 29,0 e 37,0 kg/tsa, respectivamente. Os dados, na íntegra, são apresentados no Anexo 5.

Vale salientar que a lavagem da polpa com o filtrado diluído não contribuiu significativamente para o aumento de DQO da polpa na entrada do branqueamento, visto que esta polpa apresentou valor de DQO igual a 17,1 kg/tsa. Entretanto, a polpa lavada com o filtrado concentrado apresentou valor de DQO igual 26,3 kg/tsa, na entrada do branqueamento.

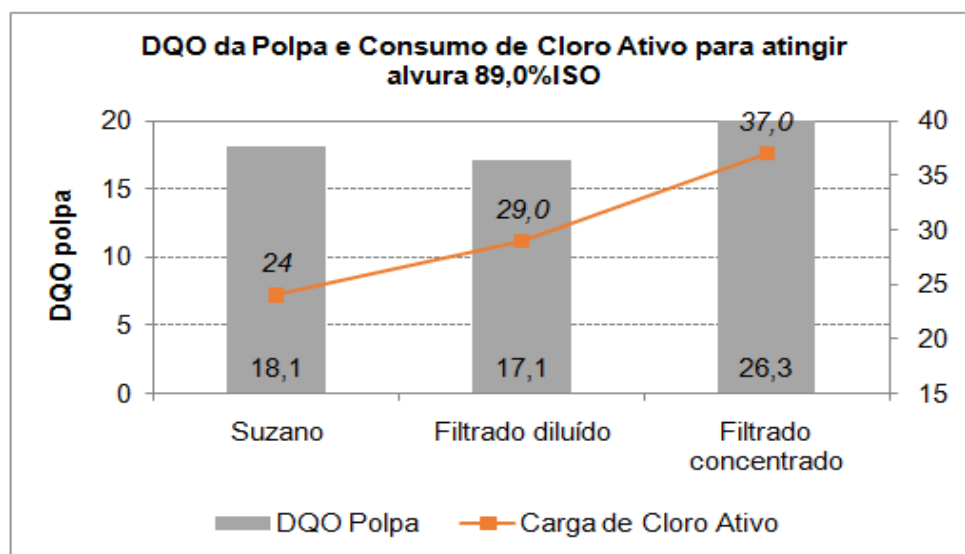


Figura 27: DQO da polpa e consumo de cloro ativo das amostras Suzano e lavadas com filtrado para atingir uma alvura de 89,0 %ISO.

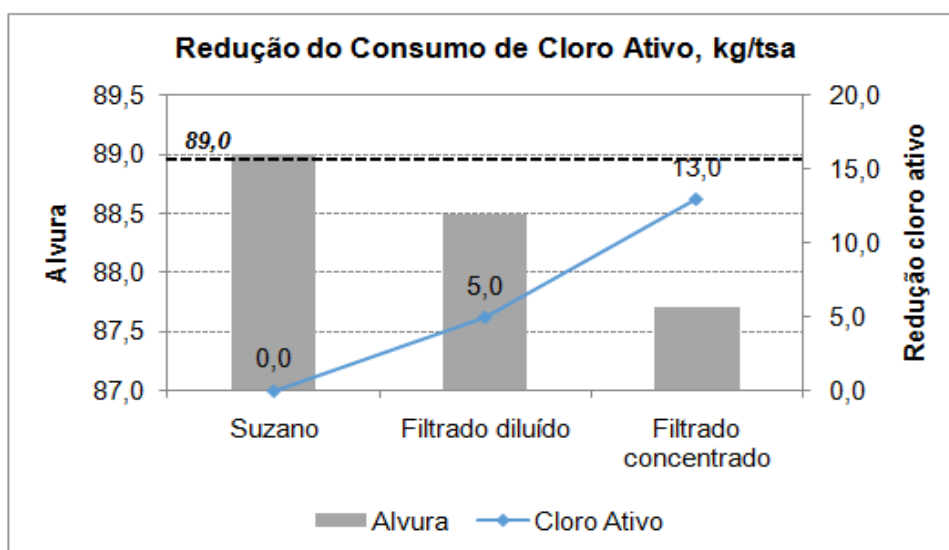


Figura 28: Aumento no consumo de cloro ativo das amostras lavadas com filtrado em relação à amostra Suzano, para atingir uma alvura de 89,0 %ISO.

Foi verificado um aumento no consumo de cloro ativo de 5,0 e 13,0 kg/tsa, para as amostras lavadas com os filtrados diluído e concentrado, respectivamente, quando comparado ao valor de consumo para a polpa lavada com condensado secundário (amostra Suzano), no qual o consumo total foi de 24,0 kg/tsa, para atingir uma alvura final da polpa equivalente a 89,0 %ISO. Desse modo, é possível inferir que a lavagem da polpa com filtrados dos lavadores não é uma etapa economicamente atrativa, visto o aumento no consumo de cloro ativo no branqueamento.

6.2.4.2 Branqueabilidade das Polpas

6.2.4.2.1 Número Kappa

A Figura 29 apresenta o perfil de número kappa das polpas celulósicas no estágio Ep, e também expõe os valores da DQO da polpa na entrada do branqueamento para as amostras lavadas com condensado e com filtrado diluído e concentrado.

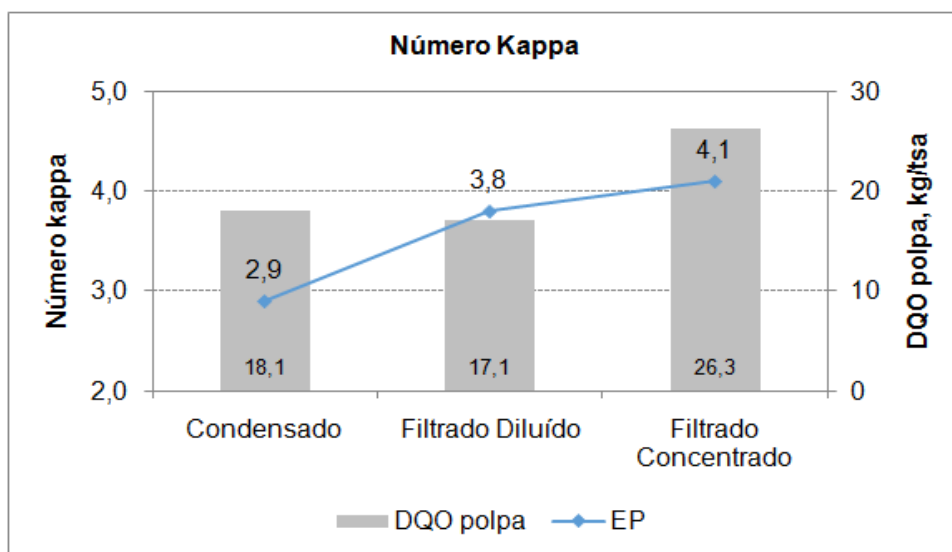


Figura 29: Perfil de número kappa no estágio Ep e DQO das polpas celulósicas na entrada do branqueamento das amostras lavadas com condensado e com filtrado diluído e concentrado.

Conforme observado, as amostras lavadas com os filtrados do lavador DDW apresentaram tendência de maior dificuldade de branqueabilidade, marcada pelos maiores valores de número kappa, quando comparados ao da amostra lavada com o condensado (números kappa de 3,8 e 4,1 para as polpas lavadas com os filtrados, contra um número kappa de 2,9 para a polpa lavada com condensado).

Como fundamentado, e previamente discutido nesse trabalho, a composição de metanol corresponde a uma grande parcela da composição da DQO do condensado e este componente pouco influencia na branqueabilidade da polpa. No caso da amostra de condensado da Suzano um valor aproximado de 52% da DQO do condensado deve-se ao metanol. Acredita-se, desse modo, que nos filtrados a composição de metanol seja menor, e que estes filtrados sejam constituídos majoritariamente por compostos que impactam negativamente na branqueabilidade da polpa, tais como ácidos orgânicos e resinosos, compostos enxofre, terpenos, e outros.

6.2.4.2.2 Alvura

A Figura 30 apresenta o perfil de alvura (% ISO) das polpas celulósicas das amostras lavadas com condensado e com filtrado diluído e concentrado na

sequência de branqueamento A/DEpDP. No estágio D foram utilizadas diferentes cargas de cloro ativo (T1= 8,0, T2= 10,0 e T3= 12,0 kg/tsa) a fim de avaliar o impacto na branqueabilidade das polpas.

Como observado, Figura 30, em todos os estágios da sequência de branqueamento utilizada houve a redução no valor de alvura para as polpas celulósicas lavadas com filtrado diluído e concentrado em relação à polpa lavada com condensado da evaporação. No primeiro estágio (A/D) houve redução de alvura equivalente a 10,01%, ou seja, diminuição de 63,9 % ISO da alvura da polpa lavada com condensado para 57,5 % ISO de alvura para a polpa lavada com filtrado concentrado. No segundo estágio (Ep) a redução de alvura foi equivalente a 5,6%. Nos dois últimos estágios foi verificada redução média de alvura para as polpas lavadas com filtrado concentrado equivalente a 2,41 e 1,64%, para os estágios D e P, respectivamente, em função das diferentes cargas de cloro ativo utilizadas no estágio D (T1, T2 e T3).

Desse modo, foi observado que a lavagem da polpa com filtrado diluído e concentrado do lavador DDW afetou negativamente a branqueabilidade da polpa, mostrando-se pior que lavagem da polpa com condensado da evaporação. Portanto, a lavagem com filtrado interferiu efetivamente em todos os estágios do branqueamento, sendo mais pronunciada nos dois primeiros estágios (A/D e Ep).

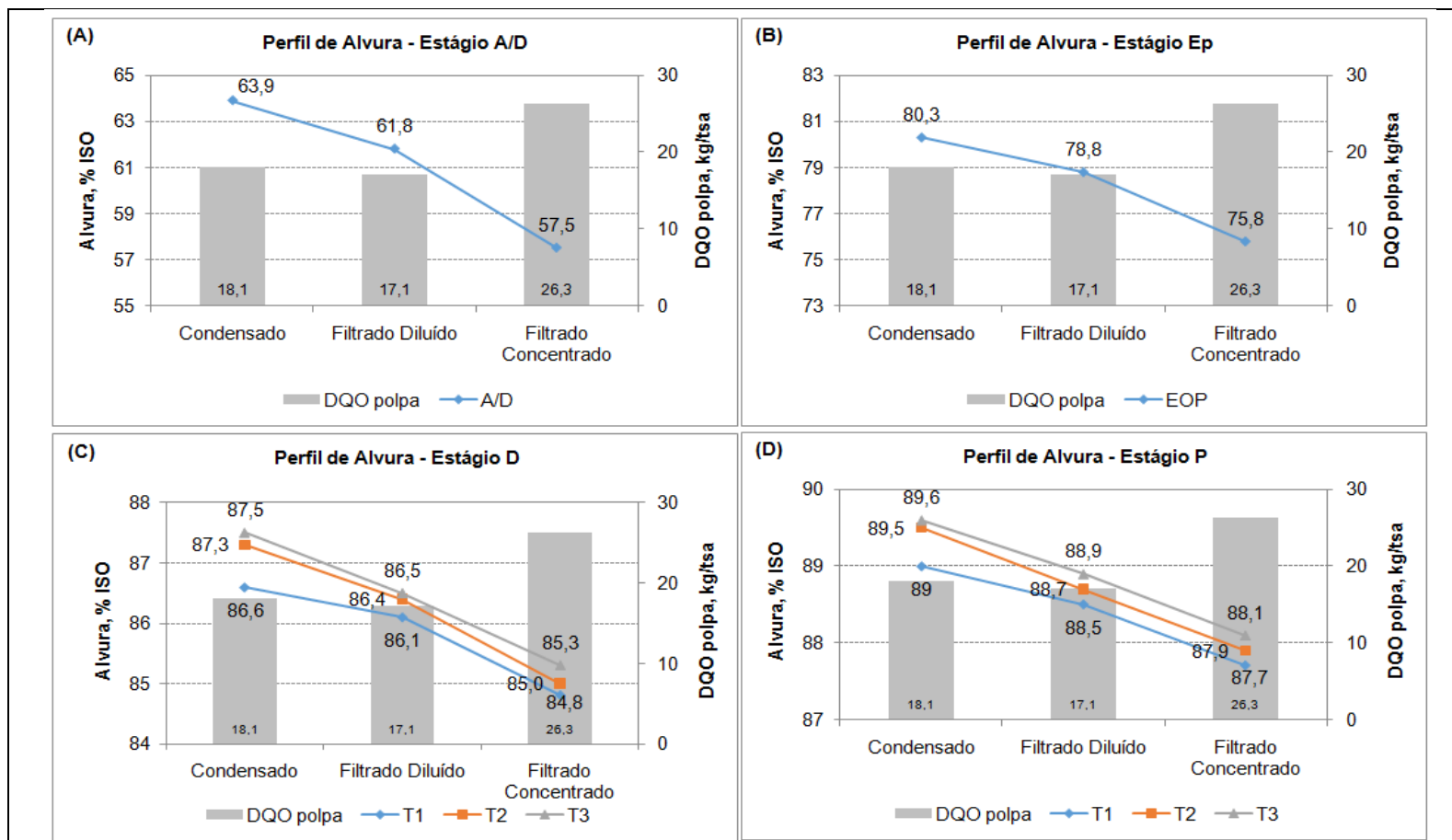


Figura 30: Perfil de alvura das polpas celulósicas lavadas com condensado e com filtrado diluído e concentrado, nos estágios: **(A)** A/D; **(B)** Ep; **(C)** D, no qual T1= 8,0, T2= 10,0 e T3= 12,0 kg/tsa de cloro ativo; e **(D)** P, no qual T1= 8,0, T2= 10,0 e T3= 12,0 kg/tsa de cloro ativo no estágio D.

6.2.4.2.3 Viscosidade

A Figura 31 apresenta o perfil de viscosidade das polpas celulósicas nos estágios Ep e ao final do branqueamento (estágio P), para as amostras lavadas com condensado e com filtrado diluído e concentrado.

Foi percebida discreta diferença nos valores de viscosidade para as diferentes amostras em cada tratamento. Quando a polpa foi lavada com filtrado concentrado, houve um incremento de 45% no valor da DQO, comparada à amostra lavada com condensado (valor da DQO da polpa passou de 18,1 kg/tsa na polpa lavada com condensado, para 26,3 kg/tsa para a polpa lavada com filtrado concentrado). Paralelamente nota-se que não houve efeito negativo no parâmetro viscosidade, visto que esta manteve em patamar para ambas as amostras (793 e 803 dm^3/kg , para as amostras lavadas com condensado e com filtrado concentrado, respectivamente) Desse modo, a variação da DQO da polpa parece não influenciar nos valores de viscosidade da polpa. Esses resultados estão de acordo com as simulações anteriores e também com dados reportados na literatura (Viirimaa *et al.*, 2002; Sankari *et al.*, 2004).

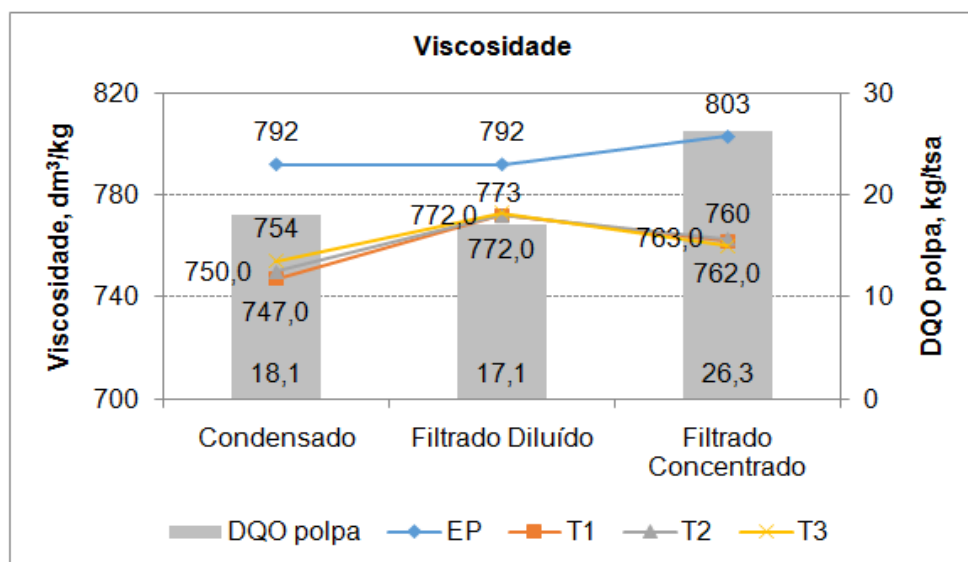


Figura 31: Perfil de viscosidade, nos estágios Ep e P, e DQO das polpas celulósicas das amostras lavadas com condensado e com filtrado diluído e concentrado; no qual T1= 8,0, T2= 10,0 e T3= 12,0 kg/tsa de cloro ativo no estágio D.

6.2.4.2.4 Reversão de Alvura

A Figura 32 mostra o perfil de reversão de alvura das polpas celulósicas ao final do branqueamento (estágio P), para as amostras lavadas com condensado e com filtrado diluído e concentrado. Como previamente sugerido, a presença de outros compostos nos filtrados (tais como ácidos orgânicos e resinosos, terpenos, etc), prejudica a branqueabilidade da polpa, quando comparada a amostra lavada com condensado. Nota-se que a lavagem com os filtrados reduz a estabilidade de alvura, marcada pela maior reversão de alvura dessas polpas.

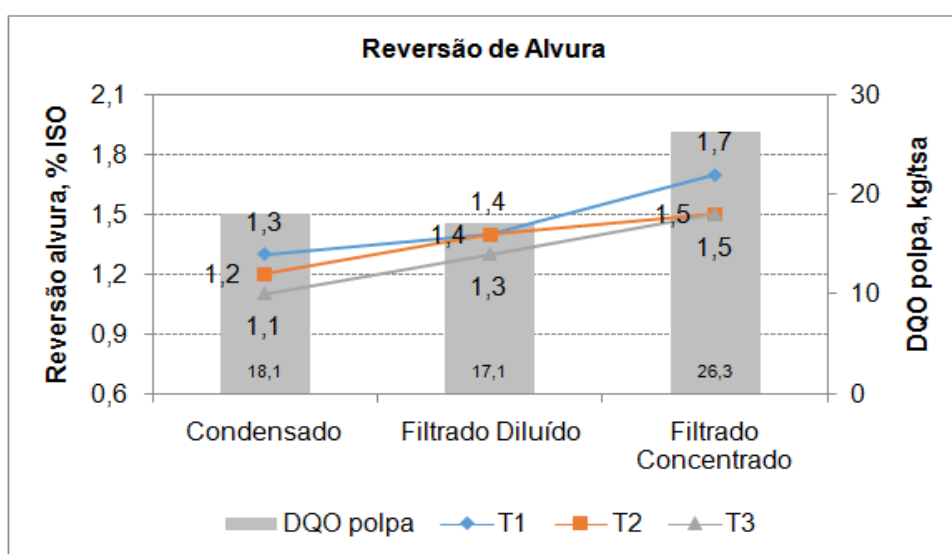


Figura 32: Perfil de reversão de alvura e DQO das polpas celulósicas das amostras lavadas com condensado e com filtrado diluído e concentrado; no qual T1= 8,0, T2= 10,0 e T3= 12,0 kg/tsa de cloro ativo no estágio D.

7. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo permitiram concluir que:

- Na caracterização dos condensados foi observado que o valor de DQO da amostra Suzano (2910,8 ppm) é cerca de oito vezes superior aos valores das Fábricas A e B (263,3 e 339,2 ppm, respectivamente). Para a polpa Suzano, a composição de metanol equivale a aproximadamente 74,0% do valor da DQO.
- Análise da relação entre os valores da DQO do condensado e da polpa na entrada do branqueamento apontou que 98,16% da variação da DQO da polpa pode ser explicada pela DQO do condensado utilizado na lavagem dessa polpa.
- Nas Simulações 1 e 2 foi avaliada a influência dos condensados Suzano, Fábricas A e B e Suzano otimizado na branqueabilidade da polpa celulósica. Observou-se que a amostra Suzano, com maior valor da DQO do condensado e da polpa, demonstrou maior dificuldade de branqueabilidade, e que 74,97% da variação do número kappa da polpa no estágio Ep pode ser explicada pela DQO da polpa na entrada do branqueamento. Não foi verificada influência da DQO do condensado nos valores de viscosidade da polpa. Por fim, foi verificada uma redução no consumo de cloro ativo equivalente a 1,3; 0,9 e 1,8 kg/tsa para as amostras da Fábrica A, B e Suzano otimizada, respectivamente, quando comparado ao consumo da amostra Suzano, para atingir uma alvura final de 89,7 %ISO. Desse modo, é sugerido que um ajuste no valor da DQO do condensado, a um nível equivalente ao praticado em outras fábricas do setor (aproximadamente 200 ppm), pode refletir em uma redução de até 1,8 kg/tsa no consumo de cloro ativo no branqueamento.
- Em virtude dos resultados apresentados nas simulações 1 e 2, a Suzano Papel e Celulose poderá utilizar em um novo projeto de investimento nas melhorias da evaporação da linha 1, a redução de 2,0 kg/tsa de cloro ativo no branqueamento para o cálculo do *payback*, com a garantia de que o condensado da Suzano terá valores de DQO similares aos da fábrica A e B.
- Na Simulação 3 foi avaliada a influência da lavagem da polpa com água desmineralizada e com o condensado Suzano na branqueabilidade da polpa. A lavagem com água, promoveu redução na ordem de 9,6 vezes do valor da DQO da polpa na entrada do branqueamento, refletindo em uma redução de 10% no valor de número kappa da polpa no estágio Ep e uma redução no consumo de cloro ativo,

equivalente a 1,7 kg/tsa, para atingir um valor de alvura de 89,8 %ISO. Não foi verificada influência da DQO do condensado nos valores de viscosidade da polpa.

- Na Simulação 4 foi avaliada a influência da lavagem com condensado e filtrados diluído e concentrado, coletados nos lavadores DDW, na branqueabilidade da polpa celulósica. A lavagem da polpa com os filtrados afetou negativamente a branqueabilidade da polpa, aumentando o valor de número kappa no estágio Ep e interferindo nos valores de alvura em todos os estágios de branqueamento. Houve, ainda, redução da estabilidade de alvura. Também, foi verificado um aumento no consumo de cloro ativo de 5,0 e 13,0 kg/tsa, para as amostras lavadas com os filtrados diluído e concentrado, respectivamente, quando comparado ao valor de consumo para a polpa lavada com condensado, onde o consumo total foi de 24,0 kg/tsa, para atingir uma alvura final da polpa equivalente a 89,0 %ISO. Desse modo, é possível inferir que a lavagem da polpa com os filtrados dos lavadores não é uma etapa economicamente atrativa, visto o aumento no consumo de cloro ativo na etapa de branqueamento.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, T. N.; FREDERICK, W. J.; GRACE, T. M.; HUPA, M.; LISA, K.; JONES, A. K.; TRAN, H. **Kraft Recovery Boilers**. 1 ed., Atlanta: Tappi Press, 1997.

ARAUJO, A. L. P.; COSSICH, E. S.; TAVARES, C. R. G. **Remoção da DQO de Efluente de Indústria de Celulose e Papel empregando Reagente Fenton**. Scientia Plena, v5, n7, 2009.

BIERMANN, C. J. **Handbook of Pulping and Papermaking**, Academic Press, 2nd edition, 1996.

CARDOSO, G. V. **Otimização do cozimento kraft para produção de celulose a partir de madeiras de *Eucalyptus globulus* com diferentes teores de lignina**. 2002. 147f. Tese (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil, 2002.

CAUX, L. S.; SOUZA, W. M.; FONSECA, M. J. O.; AMORIM, S. C.; GUIMARÃES, C. C. J. **Estudo para Otimização da Deslignificação com Oxigênio e Branqueamento ECF da Polpa Kraft de *Eucalyptus ssp.*** In: Congresso Anual de Celulose e Papel – ABTCP, 44º, São Paulo, 2011.

CHANDRA, Y. **Alkaline pulping:deadload reduction studies in chemical recovery system**. 2004. 53p. Thesis (Master of Science in Paper Science Engineering) - Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA, 2004.

COLODETTE, J. L.; GOMES, C. M.; RABELO, M. S.; EIRAS, K. M. M.; GOMES, A. G.; OLIVEIRA, K. D. **Eucalyptus Kraft pulp bleaching: State-of-the-art and new developments**. Tappi Journal (On-line exclusive), 2008.

COSTA, M. M.; OLIVEIRA M. J.; SANTOS, C. A.; FILHO C. A. **Efeito do fator kappa na estabilidade de alvura de polpas kraft branqueada de *Eucalyptus spp.*** Colóquio internacional sobre celulose Kraft de Eucalípto, 328-348, Viçosa MG, Brasil, 2003.

D'ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel, Volume I: Tecnologia de fabricação de pasta celulósica**. 2a ed. São Paulo: SENAI e IPT, 559p., 1988.

DAVID, A. F. (2004) **A importância da lavagem nos estágios de branqueamento**. 2004 76f. Dissertação (Pós graduação Lato Sensu em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

DENCE, C., REEVE, D. **Introduction to the principles and practice of pulp bleaching**. In: Dence, C., Reeve, D. (Eds.), *Pulp bleaching - principles and practice*. Atlanta: Tappi Press, p.1-24, 1996.

FRASSÃO, T. V. **Medição de eficiência dos lavadores de branqueamento**. 2008. 51p. Dissertação (Pós graduação *Lato Sensu* em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

GELLERSTEDT, G.; DAHLMAN, O. **Recent hypotheses for brightness of hardwood pulps**. Colóquio internacional sobre celulose kraft de Eucalipto, 328-348, Viçosa MG, Brasil, Setembro 2003.

GREEN, R. P., HOUGH, G. **Chemical Recovery in Alkaline Pulping Process**. 3a ed., Atlanta: Tappi Press, 1992.

KELSIA, S. I. **Ficha de datos de seguridad - Alcohol de quemar**. 6p, 2009.

McKAGUE, A. B., CARLBERG, G. **Effluent Characteristics and Composition**. In: Dence, C., Reeve, D. (Eds.), *Pulp bleaching - principles and practice*, Atlanta: Tappi Press, p.751-766, 1996.

MIELI, J. C. A. **Sistemas de avaliação ambiental na indústria de celulose e papel**. 2007. 99f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil, 2007.

SANKARI, M.; SILLANPÄÄ, M.; ALA-KAILA, K.; DAHL, O. **Use of secondary condensates from black liquor evaporation as process water in D0 bleaching**. *Pulp & Paper Canada*, 105:5, 36-40, 2004.

SILLANPÄÄ, M.; VIIRIMAA, M.; ALA-KAILA, K.; NIINIMÄKI, J.; DAHL, O. **Amount and composition of cod washing loss after oxygen delignification and its effect on subsequent DEoDD bleaching: mill tests**. TAPPI 2001 Pulping Conference, Seattle, WA, USA, 2001.

TRINDADE, H. S. **A importância da lavagem da polpa nos estágios de branqueamento**. 2003. 62f. Dissertação (Pós graduação *Lato Sensu* em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

VIIRIMAA, M., DAHL, O., NIINIMÄKI, J., PERÄMÄKI, P. **Effects of certain chemical components on the bleachability of pulp in the D0 stage**. *Proc.*, 2001 11th

International symposium on wood and pulping chemistry, Nice, France, Vol. III: poster presentations, 467-470, 2001.

VIIRIMAA, M.; SILLANPÄÄ, M.; ALA-KAILA, K.; DAHL, O. **Use of secondary condensates from black liquor evaporation as process water in D0 bleaching.** 2002 TAPPI International Pulp Bleaching Conference 2002, Portland, Oregon, USA, 2002.

ANEXOS

Anexo 1

Tabela 1: Caracterização química dos condensados e água quente industrial, utilizados para lavagem da polpa celulósica.

Amostras	DQO	pH	Condutividade.	Cor real	Metais (ppm)					
	ppm		$\mu\text{S/cm}$	mg/L	Na	Ca	Fe	Mg	Al	Mn
Condensado SUZANO	2909,8	9,53	78,6	102,2	3,8	67	4,4	7,8	28,3	0
Condensado Fabrica A	363,3	8,99	43,8	139,2	1,2	219,8	2,3	1,4	9,1	0
Condensado Fabrica B	339,2	8,4	43,0	98,5	5,2	22,6	1,8	7,2	4,5	0
Água Quente Industrial	0,0	9,47	14,8	23,73	0,6	4,5	0,8	2,4	4,2	0

Anexo 2

Tabela 1: Resultados da Simulação 1 (D1 – 8,0 kg/tsa; D2 – 11,0 kg/tsa; D3 – 14,0 kg/tsa).

Identificação da Amostra		Polpa lavada condensado Suzano tal qual							Polpa lavada condensado Suzano otimizado								
Estágios		A/D	EOP	D1	D2	D3	P1	P2	P3	A/D	EOP	D1	D2	D3	P1	P2	P3
Parâmetros	pH Inicial	3,2	11,4	5,5	5,5	5,4	11,4	11,4	11,3	3,3	11,4	5,5	5,5	5,4	11,5	11,2	11,4
	pH final	2,4	11,0	3,7	3,6	3,2	10,9	10,9	10,7	2,4	10,9	3,7	3,6	3,2	10,9	10,8	10,7
	Alvura, % ISO	62,5	76,9	84,7	85,3	86,8	87,9	88,1	88,7	63,9	77,7	85,0	85,9	86,8	88,0	88,4	89,0
	Reversão, % ISO	-	-	-	-	-	3,3	2,7	2,3	-	-	-	-	-	2,7	2,3	2,1
	Kappa	-	4,3	-	-	-	-	-	-	-	4,1	-	-	-	-	-	-
	Viscosidade, dm ³ /kg	-	765	-	-	-	715	713	718	-	786	-	-	-	735	740	732
	Residual de ClO ₂ , kg/tsa	0,0	-	0,0	0,0	0,0	-	-	-	0,0	-	0,0	0,0	0,0	-	-	-
	Residual de H ₂ O ₂ , kg/tsa	-	1,0	-	-	-	1,5	1,4	1,0	-	1,2	-	-	-	1,5	1,5	1,3
	DQO polpa lavada	24,7							17,2								

Identificação da Amostra		Polpa lavada condensado Fabrica A							Polpa lavada condensado Fabrica B								
Estágios		A/D	EOP	D1	D2	D3	P1	P2	P3	A/D	EOP	D1	D2	D3	P1	P2	P3
Parâmetros	pH Inicial	3,3	11,4	5,4	5,4	5,4	11,4	11,3	11,4	3,3	11,4	5,4	5,5	5,5	11,4	11,3	11,2
	pH final	2,4	10,9	3,7	3,6	3,2	10,9	10,8	10,8	2,4	11,0	3,6	3,6	3,1	10,8	10,8	10,8
	Alvura, % ISO	63,4	76,8	85,1	86,0	86,5	88,0	88,4	88,9	62,8	76,9	85,0	85,9	87,0	88,1	88,5	88,8
	Reversão, % ISO	-	-	-	-	-	2,6	2,3	2,0	-	-	-	-	-	2,6	2,3	2,2
	Kappa	-	3,9	-	-	-	-	-	-	-	3,8	-	-	-	-	-	-
	Viscosidade, dm ³ /kg	-	773	-	-	-	732	742	727	-	772	-	-	-	721	720	725
	Residual de ClO ₂ , kg/tsa	0,0	-	0,0	0,0	0,0	-	-	-	0,0	-	0,0	0,0	0,0	-	-	-
	Residual de H ₂ O ₂ , kg/tsa	-	1,3	-	-	-	1,5	1,5	1,2	-	1,2	-	-	-	1,4	1,3	0,9
	DQO polpa lavada	15,9							16,8								

Anexo 2

Tabela 2: Extrapolação para a carga de cloro ativo da Simulação 1.

Amostra	Carga Cloro Ativo Total (kg/tsa)	Alvura Final (% ISO)	Extrapolação Alvura 88,7 % ISO (kg/tsa) (*)	Delta Alvura (% ISO) (*)
Suzano	25,0	87,9	6,0	0,8
	28,0	88,1	4,5	
	31,0	88,7	0,0	
Fábrica A	25,0	88,0	4,7	0,9
	28,0	88,4	2,0	
	31,0	88,9	-1,3	
Fábrica B	25,0	88,1	5,1	0,7
	28,0	88,5	1,7	
	31,0	88,8	-0,9	
Suzano Otimizado	25,0	88,0	4,2	1,0
	28,0	88,4	1,8	
	31,0	89,0	-1,8	
Meta Extrapolação de alvura (%ISO)				88,7
Delta da carga de cloro ativo (Carga máxima - Carga mínima) (kg/tsa)				6,0

(*) Diferença de carga de cloro ativo que será necessária para atingir alvura de 88,7 %ISO

(**) Alvura na carga máxima (31kg/tsa) menos alvura na carga mínima (25kg/tsa)

Anexo 3

Tabela 1: Resultados da Simulação 2 (D1 – 8,0 kg/tsa; D2 – 12,0 kg/tsa; D3 – 16,0 kg/tsa).

Identificação da Amostra		Polpa lavada condensado Suzano															
Estágios		A/D	EOP	D1	D2	D3	P1	P2	P3								
Parâmetros	pH Inicial	3,1	11,4	5,4	5,5	5,4	11,3	11,4									
	pH final	2,3	10,5	4,0	3,8	3,5	10,8	10,7									
	Alvura, % ISO	69,7	81,1	86,9	87,9	89,0	88,5	89,0	90,0								
	Reversão, % ISO	-	-	-	-	-	2,7	2,5	2,4								
	Kappa	6,3	2,4	-	-	-	-	-	-								
	Viscosidade, dm ³ /kg	-	827	-	-	-	811	813	810								
	Residual de ClO ₂ , kg/tsa	0,0	-	0,0	0,0	0,0	-	-	-								
	Residual de H ₂ O ₂ , kg/tsa	-	1,5	-	-	-	1,2	1,1	1,0								
Identificação da Amostra		Polpa Lavada condensado Fábrica A							Polpa Lavada condensado Fábrica B								
Estágios		A/D	EOP	D1	D2	D3	P1	P2	P3	A/D	EOP	D1	D2	D3	P1	P2	P3
Parâmetros	pH Inicial	3,1	11,4	5,4	5,5	5,4	11,3	11,4		3,1	11,4	5,4	5,5	5,4	11,3	11,4	
	pH final	2,3	10,4	3,7	3,8	3,6	10,8	10,6		2,3	10,5	3,7	3,8	3,5	10,8	10,6	
	Alvura, % ISO	70,6	81,3	87,3	88,5	89,7	88,8	89,8	90,4	69,9	81,3	87,2	88,2	89,5	88,7	89,5	90,3
	Reversão, % ISO	-	-	-	-	-	2,0	1,9	1,9	-	-	-	-	-	2,0	2,1	2,0
	Kappa	6,1	1,9	-	-	-	-	-	-	6,1	1,9	-	-	-	-	-	-
	Viscosidade, dm ³ /kg	-	822	-	-	-	815	813	795	-	837	-	-	-	825	822	805
	Residual de ClO ₂ , kg/tsa	0,0	-	0,0	0,0	0,2	-	-	-	0,0	-	0,0	0,0	0,1	-	-	-
	Residual de H ₂ O ₂ , kg/tsa	-	1,5	-	-	-	1,3	1,3	1,2	-	1,6	-	-	-	1,3	1,3	1,2

Anexo 3

Tabela 2: Extrapolação para a carga de cloro ativo da Simulação 2.

Amostra	Carga Cloro Ativo Total (kg/tsa)	Alvura Final (% ISO)	Extrapolação Alvura 90,0 % ISO (kg/tsa) (*)	Delta Alvura (% ISO) (*)
Suzano	26,0	88,5	8,0	1,5
	30,0	89,0	5,3	
	34,0	90,0	0,0	
Fábrica A	26,0	88,8	6,0	1,6
	30,0	89,8	1,0	
	34,0	90,4	-2,0	
Fábrica B	26,0	88,7	6,5	1,6
	30,0	89,5	2,5	
	34,0	90,3	-1,5	
Meta Extrapolação de alvura (%ISO)				90,0
Delta da carga de cloro ativo (Carga máxima - Carga mínima) (kg/tsa)				8,0

(*) Diferença de carga de cloro ativo que será necessária para atingir alvura de 90,0 %ISO

(**) Alvura na carga máxima (34kg/tsa) menos alvura na carga mínima (26kg/tsa)

Anexo 4

Tabela 1: Resultados da Simulação 3 (D1 – 6,0 kg/tsa; D2 – 8,0 kg/tsa; D3 – 10,0 kg/tsa).

Identificação da Amostra		Polpa lavada condensado Suzano tal qual							Polpa lavada Desmineralizada								
Estágios		A/D	EOP	D1	D2	D3	P1	P2	P3	A/D	EOP	D1	D2	D3	P1	P2	P3
Parâmetros	pH Inicial	3,0	11,5	4,8	5,1	5,5	11,2	11,2	11,2	3,0	11,6	4,9	5,2	5,1	11,2	11,3	11,3
	pH final	2,2	11,1	4,0	4,0	3,9	10,9	10,9	10,9	2,2	11,1	4,0	4,0	3,6	10,9	10,8	10,9
	Alvura, % ISO	72,3	82,4	87,9	88,4	88,9	89,8	90,3	90,6	73,8	83,3	87,9	89,0	89,3	90,1	90,6	90,8
	Reversão, % ISO	-	-	-	-	-	2,9	2,5	2,3	-	-	-	-	-	2,8	2,3	2,1
	Kappa	5,9	1,9	-	-	-	-	-	-	5,9	2,3	-	-	-	-	-	-
	Viscosidade, dm ³ /kg	-	765	-	-	-	741	736	742	-	764	-	-	-	737	743	740
	Residual de ClO ₂ , kg/tsa	0,0	-	0,0	0,0	0,0	-	-	-	0,0	-	0,0	0,0	0,0	-	-	-
	Residual de H ₂ O ₂ , kg/tsa	-	1,5	-	-	-	1,2	1,3	1,3	-	1,4	-	-	-	1,3	1,3	1,3

Tabela 2: Extrapolação para a carga de cloro ativo da Simulação 3.

Amostra	Carga Cloro Ativo Total (kg/tsa)	Alvura Final (% ISO)	Extrapolação Alvura 89,8 % ISO (kg/tsa) (*)	Delta Alvura (% ISO) (*)
Suzano	22	89,8	0,0	0,8
	24	90,3	-2,5	
	26	90,6	-4,0	
Água Desmineralizada	22	90,1	-1,7	0,7
	24	90,6	-4,6	
	26	90,8	-5,7	
Meta Extrapolação de alvura (%ISO)				89,8
Delta da carga de cloro ativo (Carga máxima - Carga mínima) (kg/tsa)				4,0

(*) Diferença de carga de cloro ativo que será necessária para atingir alvura de 89,8 %ISO

(**) Alvura na carga máxima (26kg/tsa) menos alvura na carga mínima (22kg/tsa)

Anexo 5

Figura 1: Resultados da Simulação 4 (D1 – 8,0 kg/tsa; D2 – 10,0 kg/tsa; D3 – 12,0 kg/tsa).

Identificação da Amostra		Polpa lavada condensado Mucuri - DQO 18,1 kg/tsa							
Estágios		A/D	EOP	D1	D2	D3	P1	P2	P3
Parâmetros	pH Inicial	3,0	11,6	5,1	5,4	5,5	11,4	11,3	11,2
	pH final	2,1	11,4	4,3	3,9	3,7	11,2	11,1	11,0
	Alvura, % ISO	63,9	80,3	86,6	87,3	87,5	89,0	89,5	89,6
	Reversão, % ISO	-	-	-	-	-	1,3	1,2	1,1
	Kappa	-	2,9	-	-	-	-	-	-
	Viscosidade, dm ³ /kg	-	792	-	-	-	747,0	750,0	754
	Residual de ClO ₂ , kg/tsa	0,0	-	-	-	-	-	-	-
	Residual de H ₂ O ₂ , kg/tsa	-	0,3	-	-	-	0,4	0,6	0,8

Identificação da Amostra		Polpa lavada filtrado diluído - DQO 17,1 kg/tsa							Polpa lavada filtrado concentrado - DQO 26,3 kg/tsa								
Estágios		A/D	EOP	D1	D2	D3	P1	P2	P3	A/D	EOP	D1	D2	D3	P1	P2	P3
Parâmetros	pH Inicial	3,0	11,6	5,3	5,4	5,5	11,3	11,3	11,2	3,0	11,6	5,3	5,4	5,5	11,4	11,3	11,2
	pH final	2,3	11,4	4,4	4,0	3,8	11,1	11,0	10,9	2,3	11,4	4,4	3,9	3,7	11,1	11,0	11,0
	Alvura, % ISO	61,8	78,8	86,1	86,4	86,5	88,5	88,7	88,9	57,5	75,8	84,8	85,0	85,3	87,7	87,9	88,1
	Reversão, % ISO	-	-	-	-	-	1,4	1,4	1,3	-	-	-	-	-	1,7	1,5	1,5
	Kappa	-	3,8	-	-	-	-	-	-	-	4,1	-	-	-	-	-	-
	Viscosidade, dm ³ /kg	-	792	-	-	-	772,0	772,0	773	-	803	-	-	-	762,0	763,0	760
	Residual de ClO ₂ , kg/tsa	0,0	-	-	-	-	-	-	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-
	Residual de H ₂ O ₂ , kg/tsa	-	0,4	-	-	-	0,7	0,8	0,9	-	0,4	-	-	-	0,9	1,1	1,1

Anexo 5

Tabela 2: Extrapolação para a carga de cloro ativo da Simulação 4.

Amostra	Carga Cloro Ativo Total (kg/tsa)	Alvura Final (% ISO)	Extrapolação Alvura 89,0 % ISO (kg/tsa) (*)	Delta Alvura (% ISO) (*)
Suzano	24	89,0	0,0	0,6
	26	89,5	-3,3	
	28	89,6	-4,0	
Filtrado diluído	24	88,5	5,0	0,4
	26	88,7	3,0	
	28	88,9	1,0	
Filtrado concentrado	24	87,7	13,0	0,4
	26	87,9	11,0	
	28	88,1	9,0	
Meta Extrapolação de alvura (%ISO)				89,0
Delta da carga de cloro ativo (Carga máxima - Carga mínima) (kg/tsa)				4,0

(*) Diferença de carga de cloro ativo que será necessária para atingir alvura de 89,0 %ISO

(**) Alvura na carga máxima (28kg/tsa) menos alvura na carga mínima (24kg/tsa)