

# USO DE ÁGUA RECUPERADA NA PREPARAÇÃO DE AMIDO SUPERFICIAL

**Autores\*:** Daniel H. G. de Lima<sup>1</sup>  
Fábio E. C. de Aguiar<sup>1</sup>  
Luiz A. Pinto<sup>1</sup>  
Yara G. de Souza<sup>1</sup>  
Ricardo C. da Silva<sup>1</sup>  
Jucelino M. Miranda<sup>1</sup>

## RESUMO

A água é um recurso abundante no planeta e essencial em diversos setores industriais, com especial foco para a indústria papelreira. No entanto, a sua disponibilidade com características físico-químicas adequadas para o uso industrial é limitada, requerendo investimentos em processos de captação e tratamento. Sendo assim, a economia desse recurso torna-se não apenas uma questão de sustentabilidade, mas também uma questão financeira.

A escassez de água em condições adequadas para as finalidades industriais tem aumentado ao longo do tempo, tendo como causas principais a poluição dos corpos hídricos por atividades antropogênicas e as alterações climáticas. Toma-se como exemplo a seca de proporções históricas pela qual uma das regiões mais industrializadas do país, a região Sudeste, passou durante segundo semestre de 2014 e primeiro semestre de 2015. Eventos como esse apontam para um futuro onde o uso racional desse recurso será uma necessidade constante.

Considerando esse cenário, o presente trabalho demonstra, discute e avalia os impactos da utilização de água recuperada - água branca após recuperação de fibras - do processo produtivo de papel a partir de fibra curta de eucalipto e colagem alcalina no cozimento de amido de milho usado para recobrimento superficial de papel de imprimir e escrever.

A metodologia laboratorial empregada envolveu coleta e caracterização de água recuperada de duas fontes distintas. O amido oxidado de milho foi dispersado, submetido a cozimento via Jet Cooker laboratorial e, após caracterização, as pastas produzidas foram aplicadas em papel apergaminhado (66 g/m<sup>2</sup>).

As amostras de papel com aplicação de amido foram submetidas a testes físicos para quantificação de diferenças e avaliação do impacto na qualidade final.

Os resultados viabilizaram a discussão sobre a possibilidade do uso da água recuperada em projetos para a redução do consumo de água fresca (fresh water).

**Palavras-chave:** água recuperada, amido superficial, economia de água, sustentabilidade, testes físicos.

## INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água com características adequadas para o uso industrial tem diminuído como consequência da poluição dos corpos hídricos por atividades antropogênicas e das alterações climáticas.

A necessidade de que novas medidas ou tecnologias de otimização do uso da água nos processos sejam adotadas é assunto cada vez mais usual nas indústrias, em especial, nas indústrias de celulose e papel (C&P).

O alto consumo de água somado a eventos tais como o da seca de proporções históricas ocorrida na região Sudeste durante o segundo semestre de 2014 e primeiro semestre de 2015 resultam em uma conta nada interessante para as indústrias de celulose e papel (C&P), por aumentar o impacto em custos e também gerar variações no processo que podem ocorrer por causa das mudanças das características do leito de captação.

A fabricação de papel requer água para várias operações unitárias, em particular para a dispersão da celulose, lavagem de polpa, produção de vapor e preparação de aditivos [1].

No entanto, a prática da reciclagem de certo percentual de água do processo é comum, já que recupera fibras que foram perdidas para o efluente. Essa reciclagem é conseguida através do fechamento dos sistemas (total ou parcialmente), promovendo a recirculação da água do processo. Por esse motivo, o consumo de água fresca (fresh water) é reduzido [2].

A água recuperada é a água branca depois da recuperação de fibras, sendo que nesse processo é retirada a quase totalidade das fibras e materiais sólidos em suspensão para que possa ser reutilizada em vários pontos, tais como chuveiros da mesa plana [3].

Porém, a recuperação e reuso da água pode aumentar a concentração de espécies orgânicas e inorgânicas, que podem afetar a formação do papel, aumentar a carga orgânica, gerar aumento da corrosão e da geração de odores [4]. Além disso, pode prejudicar a performance de alguns aditivos por causar desbalanço químico.

## \* Referências dos autores:

1. Cargill Agrícola S.A. São Paulo (SP). Brasil

**Autor correspondente:** Daniel Henrique G. de Lima. Cargill Agrícola S.A. Rua Giuseppina Vianelli di Anpoli, 900 – Polo II Alta Tecnologia. Campinas. 13. Fone: +55-11-37674407. E-mail: d\_lima@cargill.com

Sendo assim, a água recuperada excedente é, muitas vezes, descartada como efluente, fato que gera mais consumo de água fresca e até mesmo um gasto maior com o tratamento dessa corrente como efluente.

Com isso, uma das possíveis formas de se reduzir o consumo será a reutilização da água recuperada na preparação e diluição de matérias-primas, desde que esse processo não prejudique seu desempenho funcional.

No caso do amido superficial, os principais entraves seriam a presença de sólidos suspensos e especialmente a de sais, já que esses poderiam comprometer o cozimento e a resistência do filme de amido formado na parte superficial do papel, impactando em testes físicos.

A presença de sais é crítica, pois diminui a tendência de associação entre as moléculas de amilose, dificultando sua cristalização, provocando uma menor expulsão de água intermolecular e consequente queda na viscosidade. Os valores de *setback* e ponto de quebra sofrem, em geral, uma queda à medida que se aumenta a concentração, indicando que a presença dos sais pode diminuir a tendência à retrogradação (*setback*) [5].

A comprovação do impacto na aplicação de amido superficial foi feita através de aplicação em papel apergaminhado e posterior avaliação dos testes físicos, buscando variações que pudessem comprometer a qualidade do papel.

Com base nos dados de aplicação obtidos é possível definir se a água recuperada é uma corrente hídrica passível de uso na preparação de amido superficial, gerando assim uma possível economia de água fresca.

## MÉTODOS

O trabalho de aplicação e caracterização do amido foi desenvolvido no Laboratório Industrial do Innovation Center CARGILL em Campinas (SP) e no laboratório de P&D CARGILL em Uberlândia (MG). Já a caracterização das águas foi feita em laboratório especializado credenciado em Campinas (SP) e os testes físicos foram feitos no laboratório de testes físicos de uma grande e renomada empresa produtora de papel e celulose, com várias unidades no país. Para os testes, utilizou-se um amido oxidado de milho (*Zea mays*) de baixa conversão, muito utilizado em revestimento superficial de papel. As águas recuperadas foram coletadas em duas fábricas de papel (branco de fibra curta de eucalipto e colagem alcalina) distintas, identificadas como CASO 1 e CASO 2.

### Caracterização das águas recuperadas

Para caracterização físico-química das águas recuperadas utilizadas nos ensaios de laboratório, amostras foram enviadas para análise externa em empresa especializada. Foram utilizadas metodologias extraídas das seguintes fontes:

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2005.

- EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – *Field pH Measurement* – SESDPROC-100-R2. USA – 2008.
- SESD - EPA-SESD - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - Science and Ecosystem Support Department - *Field Methods*. Washington: Nov. 2007.

### Caracterização viscoamilográfica comparativa

Para avaliar o efeito do uso de água recuperada no perfil viscoamilográfico do amido em questão utilizou-se um equipamento Brabender Amylograph-E (Brabender GmbH & Co, Duisburg, Alemanha), preparando-se dispersões de amido superficial com 15% de teor de sólidos e utilizando-se água desmineralizada como padrão na comparação com as águas recuperadas testadas.

### Preparação e caracterização do amido superficial

Para os testes laboratoriais de aplicação, a preparação seguiu o procedimento padrão laboratorial de cozimento utilizando um Lab Cooker SP&P (Spare Parts & Services B.V, Stadskanaal, Holanda) com injeção de vapor direto. A temperatura utilizada foi de 120°C com tempo de retenção de 72 segundos e a pressão na *cooking line* não ultrapassou 2,5 bar. Inicialmente, foram preparadas dispersões a 22,5% de amido (base seca) utilizando-se água desmineralizada como padrão na comparação com as águas recuperadas testadas.

Após o cozimento, a pasta de amido foi diluída para 10% de sólidos (concentração de aplicação) cuidando-se para que a temperatura não ficasse abaixo de 50°C. A viscosidade foi medida utilizando-se um viscosímetro Brookfield RV-DV I Prime (Brookfield Engineering, Middleboro, EUA) a 100 rpm, 50°C e o pH foi medido tal qual com pHmetro de bancada Digimed DM-22 (Digimed, São Paulo, Brasil).

### Aplicação

A aplicação da pasta de amido a 10% foi feita utilizando-se um *foullard* FVH-B-350 na posição horizontal (Werner Mathis AG, Oberhasli, Suíça) com velocidade de 2,0 m/min e pressão entre rolos de 0,9 bar, visando obter-se uma gramatura de aplicação de aproximadamente 3,0 g/m<sup>2</sup>. Foram utilizadas folhas de papel apergaminhado branco de fibra curta de eucalipto e colagem alcalina com gramatura de 66 g/m<sup>2</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Considerações técnicas

A **Tabela 1** mostra os resultados obtidos nas análises físico-químicas das águas recuperadas referentes ao CASO 1 e ao CASO 2. Observa-se uma diferença maior que 20% quanto à quantidade total de sais (sólidos totais dissolvidos) de uma fábrica para outra, sendo que a amostra do CASO 1 mostrou-se mais carregada de sais e com menor teor de sólidos suspensos e turbidez.

Já a amostra do CASO 2 possui menor quantidade de sais, porém tem quase 4 vezes mais sólidos suspensos e maior turbidez, caracte-

rísticas especialmente devidas à presença de carga mineral e finos de celulose que não foram retirados no processo de recuperação de fibras.

A água utilizada como padrão foi a desmineralizada (condutividade menor que 2,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e pH de 7,50 com uma quantidade de eletrólitos totais dissolvidos menor que 1 ppm), pois essa é a situação onde o amido sofre o menor impacto do meio na gelatinização, abertura e interação de suas cadeias.

Na **Figura 1** fica evidente que a presença de sais no cozimento do amido superficial em questão impacta diretamente na viscosidade de pico (peak), de quebra (breakdown), final, bem como no *setback* (retrogradação).

O impacto da maior presença de sais é mais contundente na retrogradação, como se pode ver nas curvas do CASO 1 e CASO 2. A menor tendência à retrogradação ficou evidente quando a temperatura se aproximou de 50°C, dada a diferença entre as curvas do CASO 1 e CASO 2 em comparação ao padrão.

Após preparação (cozimento) e diluição nas condições citadas no Item 2.3 foi feita uma caracterização básica da pasta de amido a ser aplicada (Tabela 2). Provavelmente devido ao fato de a medição ter sido feita imediatamente após o atingimento da temperatura (50°C),

**Tabela 2.** Caracterização das pastas de amido na aplicação (10% de sólidos)

Amostra	pH	Viscosidade Brookfield; 50°C 100rpm (cP)
Padrão	7,35	102 $\pm$ 4
CASO 1	7,59	98 $\pm$ 4
CASO 2	7,73	100 $\pm$ 4

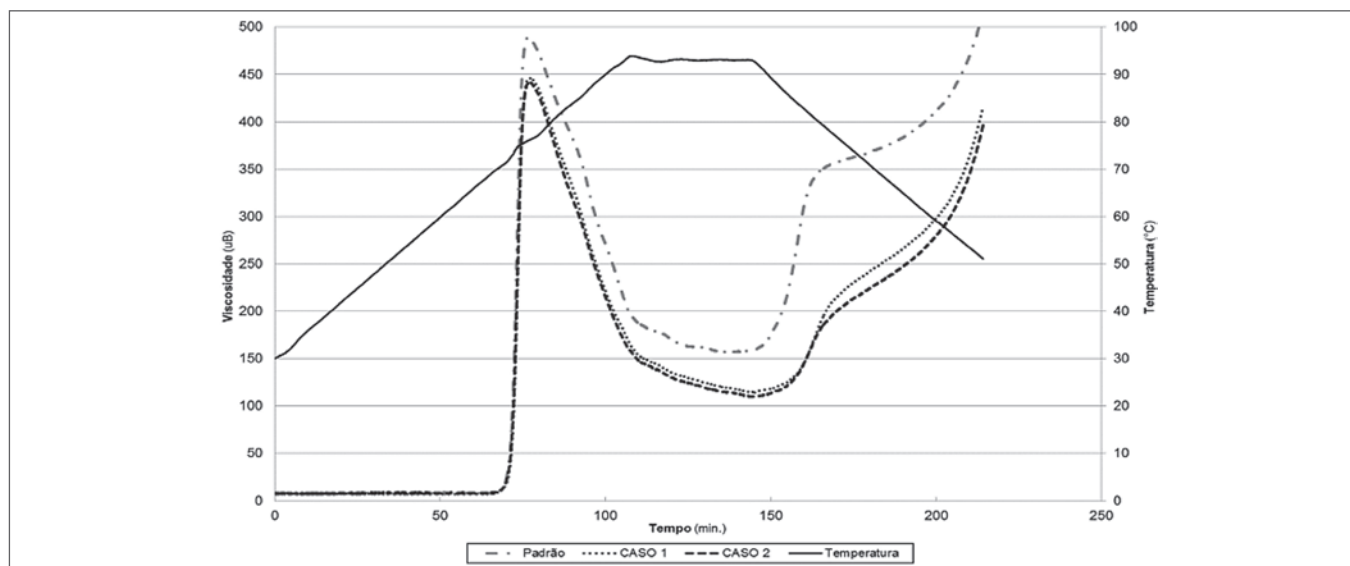
não foram observadas grandes diferenças em termos de viscosidade entre as pastas a 10% de sólidos.

Sendo assim, não foram observadas diferenças nítidas durante as aplicações, fato que pode ser comprovado pelos testes físicos apresentados na **Tabela 3**. As propriedades óticas do papel foram mantidas em relação ao padrão de uma forma geral.

No CASO 1, as características físico-químicas da água permitiram que a maioria dos parâmetros se mantivesse (perdas e ganhos menores que 3%) e ainda houve casos de ganhos expressivos tais como no Taber test (ganho de 49,65% no sentido longitudinal e 41,05% no transversal) e Cobb test (redução de 10,56%). Os resultados foram, na média, piores para as amostras do CASO 2, porém cabe ressaltar o ganho expressivo (16,78%) obtido no Taber test longitudinal.

**Tabela 1.** Caracterização das águas recuperadas de duas fábricas de papel distintas

ENSAIO	UNIDADE	CASO 1	CASO 2
pH	-	7,85	8,16
Condutividade Elétrica	$\mu\text{S}/\text{cm}$	668,7	533,0
Cálcio	ppm	66	38
Magnésio	ppm	6	5
Bicarbonatos	ppm	50	54
Cloretos	ppm	206,95	96,83
Sulfatos	ppm	80,92	120,34
Ferro	ppm Fe	0,30	0,03
Sólidos Totais Dissolvidos	ppm	432,0	335,7
Sólidos Suspensos	mg/L	34	134
Turbidez	NTU	48	108



**Figura 1.** Viscoamilograma Brabender comparativo

Tabela 3. Testes físicos para comparação das aplicações

Parâmetros	Unidade	PADRÃO		CASO 1				CASO 2			
		Média	DP	Média	DP	Diferença	Status	Média	DP	Diferença	Status
Gramatura	g/m <sup>2</sup>	68,7	1,1	69,1	0,8	0,58%	►	68,7	0,4	0,00%	►
L*D65/10	-	93,14	0,05	93,13	0,07	-0,01%	►	93,15	0,02	0,01%	►
a*D65/10	-	2,31	0,01	2,26	0,00	-2,16%	►	2,27	0,02	-1,73%	►
b*D65/10	-	-9,64	0,02	-9,54	0,09	-1,04%	►	-9,47	0,18	-1,76%	►
Alvura ISO C (Brightness)	-	90,7	0,2	90,5	0,2	-0,22%	►	90,6	0,1	-0,11%	►
Branco (Whiteness)	-	127,3	0,2	126,9	0,5	-0,31%	►	126,6	0,8	-0,55%	►
Branco 420 (Whiteness - sem UV)	-	91,1	0,2	90,8	0,2	-0,33%	►	91,1	0,0	0,00%	►
Fluorescência Branco	-	36,25	0,03	36,08	0,32	-0,47%	►	35,48	0,63	-2,12%	►
Autoline Rasgo L	mN	722	34	721	14	-0,14%	►	667	21	-7,62%	▼
Autoline Rasgo T	mN	617	1	619	20	0,32%	►	626	5	1,46%	►
Rasgo T	gf	56	0	56	2	0,00%	►	56	0	0,00%	►
Índice de Rasgo T	gf/100g/m <sup>2</sup>	81,00	1,15	80,81	3,59	-0,23%	►	82,11	0,15	1,37%	►
Tração Ruptura L	kN/m	4,9	0,1	5,0	0,0	2,04%	►	4,8	0,0	-2,04%	►
Alongamento L	%	3,59	0,08	3,67	0,14	2,23%	►	3,57	0,11	-0,56%	►
Energia (TEA) L	J/m <sup>2</sup>	97,7	3,9	99,6	1,8	1,94%	►	96,6	2,3	-1,13%	►
Ruptura L	m	6.735,39	1,07	6.780,38	152,88	0,67%	►	6641,00	18,28	-1,40%	►
Tração Ruptura T	kN/m	3,3	0,2	3,5	0,1	6,06%	▲	3,3	0,2	0,00%	►
Alongamento T	%	7,27	0,16	7,47	0,28	2,75%	►	7,70	0,37	5,91%	▲
Energia (TEA) T	J/m <sup>2</sup>	152,4	9,3	157,1	13,2	3,08%	▲	159,3	12,9	4,53%	▲
Cobb - Tela	g/m <sup>2</sup>	80,50	4,95	72,00	1,41	-10,56%	▲	75,50	6,36	-6,21%	▲
Taber L - bancada	gf.cm	1,43	0,13	2,14	0,54	49,65%	▲	1,67	0,23	16,78%	▲
Taber T - bancada	gf.cm	0,95	0,00	1,34	0,15	41,05%	▲	0,95	0,02	0,00%	►
Dennison - Feltro	n°	18	0	18	0	0,00%	►	18	0	0,00%	►

### Considerações econômicas

Para a realização dos cálculos, considerou-se que a água recuperada excedente não retorna para o circuito de produção de papel e é descartada como efluente, bem como que num cenário usual as fábricas utilizam água fresca para a preparação (dispersão e cozimento) e diluição de amido superficial. Sendo assim, ao se reutilizar essa corrente que seria descartada gera-se uma redução direta no consumo de água fresca e uma redução indireta no volume de efluente a ser tratado. Os montantes volumétricos mensais e anuais são mostrados para ambos os casos estudados (CASO 1 e CASO 2) na **Tabela 4**.

### CONCLUSÕES

O uso de água recuperada no cozimento do amido superficial em questão (amido oxidado de milho, baixa conversão) apresentou-se como grande potencial para a redução de consumo de água fresca, já que os resultados de aplicação obtidos

com as águas recuperadas testadas mostraram um impacto mínimo e aceitável na qualidade da aplicação, bem como nos resultados de testes físicos.

No entanto, a qualidade da água recuperada deve ser monitorada, especialmente no que tange a quantidade de sais dissolvidos, vinculando a oscilação nos testes físicos à carga inorgânica da corrente em questão, criando-se um histórico. O teor de sólidos suspensos, as cargas orgânica e microbiológica também devem ser incluídos na rotina de monitoração por serem de extrema importância.

O presente trabalho deve servir como indicativo no sentido de fomentar novos trabalhos que visem economizar água. A continuidade e aplicação das informações e conclusões aqui obtidas devem, obrigatoriamente, passar pela fase de testes em escala industrial, os quais devem ser monitorados a fim de se comprovar os resultados laboratoriais. ■

### Agradecimentos

*Agradecimento especial a uma grande e renomada empresa produtora de papel e celulose, com várias unidades no país e aos colegas da CARGILL, pelo suporte.*

### REFERÊNCIAS

- Karthik, M., Dhodapkar, R., Manekar, P., Aswale, P., & Nandy, T. (2011). *Closing water loop in a paper mill section for water conservation and reuse*. Desalination, 281, 172-178.
- Thompson, G., et al. *The treatment of pulp and paper mill effluent: a review*. Bioresource technology 77.3 (2001): 275-286.
- do Amaral, K. J. (2008). *Uso de água em indústria de papel e celulose sob a ótica da gestão de recursos hídricos* (Doctoral dissertation, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO).
- Robertson, L. R., & Schwingel, W. R. (1997). *Effect of water reuse on paper machine microbiology*. In The 1997 Environmental Conference and Exhibit. Part 1(of 2) (pp. 87-93).
- Oliveira Filho, J. H., & Mancim, A. C. (2009). *Aditivos e ingredientes e seus reflexos sobre as propriedades viscoamilográficas de amido de milho*. Brazilian Journal of Food Technology, VII, BMCFB.