

O EFEITO DA ESTOCAGEM DA MASSA NA QUALIDADE DA CELULOSE KRAFT DE BAMBU

THE EFFECT OF STOCK STORAGE ON THE QUALITY OF BAMBOO KRAFT PULP

Autores/Authors*: Sanchuan Guo¹

Anette Heijnesson-Hultén²

Jiri Basta²

Ulf Germgård¹

Palavras-chave: Agitação, estocagem, bambu, fator de forma, propriedades da polpa e fibras, refinação, torções

Keywords: Agitation, bamboo, kinks, pulp and fibre properties, refining, shape factor, storage

RESUMO

Foram usadas duas celuloses kraft de bambu, cozidas para números kappa diferentes e em seguida branqueadas por processo ECF (livre de cloro elementar), para examinar a relação entre a refinação, a estocagem, as propriedades das fibras e a qualidade final das polpas. Os resultados desta pesquisa mostraram que a estocagem de polpa de bambu, mesmo sob condições de agitação, tinha impacto negativo em propriedades da polpa tais como índice de tração, encurvamento, TEA (absorção de energia sob tensão) e rigidez à tração. A densidade aparente das folhas diminuiu ligeiramente em função da estocagem sob agitação, ao passo que a relação entre a densidade e o índice de tração não era afetada. A redução das propriedades de resistência após estocagem sob agitação deveu-se, muito provavelmente, ao aumento do número de torções por mm de fibra, à diminuição do comprimento das fibras e à redução do fator de forma. Verificou-se que o efeito de estocagem não-agitada na qualidade da polpa e fibras era insignificante. É de observar que a perda de resistência da celulose resultante de estocagem sob agitação requer energia adicional de refino antes da fabricação do papel, caso deva ser mantido o valor inicial do índice de tração.

ABSTRACT

Two bamboo kraft pulps, cooked to different kappa numbers and then ECF-bleached, were used to examine the relationship between refining, storage, fibre properties and the quality of the final pulps. The results of this investigation showed that storing bamboo pulp fibres, whilst under agitation, had a negative impact on pulp properties like tensile index, curl, TEA and tensile stiffness. The apparent density of the sheets decreased slightly with agitated storage, whereas the relationship between density and tensile index was not affected. The decrease in strength properties after storage with agitation was most probably due to the increase in the number of kinks per mm fibre, the decrease in fibre length and the decrease in shape factor. The effect of non-agitated storage on the pulp and fibre quality was shown to be negligible. It should be observed that the loss in pulp strength, caused by agitated storage, requires extra beating energy input on the pulp prior to papermaking, if the initial tensile index level is to be maintained.

INTRODUÇÃO

Um grande número de produtos é fabricado com bambu, que é excelente matéria-prima para a fabricação de papel devido a seu rápido crescimento e a suas fibras longas e fortes. Dependendo do tipo de papel desejado, a celulose de bambu pode ser usada isoladamente ou em combinação com fibras de madeira, fibras de não-madeira ou fibras recicladas [1–3].

INTRODUCTION

A large number of products are manufactured from bamboo, and it is excellent raw material for papermaking due to its fast growth and long, strong fibres. Depending on the paper grade of interest, bamboo pulp can be used alone or in combination with wood, non-wood or recycled fibres [1–3].

Referências dos autores / Authors' references:

1. Universidade de Karlstad, SE-651 88 Karlstad, Suécia / Karlstad University, SE-651 88 Karlstad, Sweden
2. Eka Chemicals AB, SE-445 80 Bohus, Suécia / Eka Chemicals AB, SE-445 80 Bohus, Sweden

Autor correspondente / Corresponding author: Ulf Germgård – E-mail: ulf.germgard@kau.se

A refinação de uma pasta química é etapa importante no desenvolvimento das propriedades de resistência das fibras e da polpa antes da fabricação do papel. Contudo, o efeito da refinação nas propriedades da polpa e das fibras varia de acordo com a natureza inerente das fibras e as condições de refinação empregadas. Embora várias publicações discutam a refinação de pastas químicas relativamente a seu efeito nas propriedades da polpa, das fibras e do papel [4–7], a estabilidade das fibras da polpa refinada após estocagem no sistema de preparação de massa tem sido raramente discutida. A mesma conclusão também se aplica a celuloses kraft de bambu, ainda que a refinação de bambu, como tal, tenha sido, evidentemente, estudada [8-11].

HEIJNESSON-HULTÉN *et al.* [12] examinaram as propriedades das fibras de bambu induzidas por: 1) cozimento para diferentes números kappa (~10, 20 e 26); 2) processo de cozimento; 3) branqueamento ECF e 4) refinação de polpas de bambu em relação às propriedades da folha de celulose resultante. Foi concluído que as polpas com números kappa 20 e 26 após cozimento requeriam menos energia para atingir determinado valor Schopper-Riegler e apresentavam propriedades de resistência muito mais altas (índices de tração, arrebentamento e rasgo a um dado valor de SR) do que a polpa com número kappa baixo (~10).

Há relatos de que no caso de polpas kraft branqueadas de madeira de fibra longa de mercado [13] foi notada diferença no encurvamento das fibras entre polpas processadas pela manhã e à tarde quando sua refinação havia sido feita no dia anterior. A diferença em tempo de estocagem teve, portanto, efeito nas propriedades das fibras. Em estudo recente sobre o efeito da estocagem de polpa kraft de madeira de fibra longa branqueada comercial nunca-secada foi demonstrado que estocagem sob agitação teve efeito considerável tanto na estrutura da folha quanto em algumas propriedades mecânicas. Este resultado foi obtido seja em folhas manuais como em folhas de máquina [14]. Foi relatado, ainda, que após uma hora de estocagem cerca de 5% do índice de tração tinha sido perdido, uma porcentagem que se elevava a 15% após estocagem durante uma noite. A conclusão foi que essa perda se devia seja à redução da densidade da folha como à diminuição da capacidade das fibras de utilizarem a resistência da malha de fibras [14]. Em outro estudo recente sobre fibras de polpa kraft de bambu foram obtidos resultados semelhantes: o efeito da refinação de fibras de polpa de bambu não era confiável e a estocagem de fibras de polpa de bambu na forma de suspensão sob agitação tinha impacto negativo considerável nas propriedades de resistência da folha de papel [15]. A redução da resistência após estocagem sob agitação era parcialmente explicada pelo aumento do número de torções por mm de fibra e redução do comprimento e largura das fibras. Este trabalho focaliza a estabilidade da polpa de bambu e as propriedades das fibras tanto sob condições de estocagem com agitação como de estocagem sem agitação. São ilustradas alterações nas propriedades de resistência da polpa bem como defeitos das fibras e se avalia a relação entre as fibras e a polpa a fim de oferecer uma compreensão melhor das variações de qualidade da polpa que podem ser consequência da estocagem.

Refining of a chemical pulp is an important step in the development of fibre and pulp strength properties prior to papermaking. However, the effect of refining on the pulp and fibre properties varies according to the inherent nature of the fibres and the refining conditions employed. Although several publications discuss the refining of chemical pulps in the light of the effect on pulp, fibre and paper properties [4–7], the stability of refined pulp fibres after storage in the stock preparation system has seldom been discussed. The same conclusion is also valid for bamboo kraft pulps, although refining of bamboo as such has, naturally, been studied [8-11].

HEIJNESSON-HULTÉN *et al.* [12] examined the bamboo fibre properties induced by: 1) cooking to different kappa numbers (~10, 20 and 26); 2) the cooking process; 3) ECF bleaching and 4) refining of bamboo pulps in relation to the properties of the resulting pulp sheet. It was concluded that the pulps, with kappa numbers 20 and 26 after cooking, required less energy to reach a certain Schopper-Riegler value, and exhibited much higher strength properties (tensile index, burst and tear at a given SR value) than the low kappa number pulp (~10).

It has been reported that in the case of market softwood bleached kraft pulps [13], a difference in fibre curl was observed between pulps run in the morning and in the afternoon when the refining was done the day before. The difference in storage time, thus, had an effect on the fibre properties. In a recently performed study on the effect of storage of never-dried commercial bleached softwood kraft pulp, it was shown that storage under agitation had a considerable effect on both the sheet structure and on some mechanical properties. This result was obtained both for hand sheets and for machine-made sheets [14]. It was reported that after storage for 1 hour about 5% of the tensile index was lost and after overnight storage as much as 15% of the tensile index was lost. It was concluded that this loss was due both to a decrease in the sheet density and to a decrease in the ability of the fibres to utilize the strength of the fibre network [14]. In another recent study on bamboo kraft pulp fibres similar results were achieved: the effect of refining bamboo pulp fibres was unreliable and storing bamboo pulp fibres as an agitated pulp slurry had a considerable negative impact on the strength properties of the paper sheet [15]. The decrease in strength after agitated storage was partly explained by an increase in the number of kinks per mm fibre and a decrease in the fibre length and width. This report focuses on the stability of bamboo pulp and fibre properties under both agitated and non-agitated storage. Changes in pulp strength properties and fibre defects are illustrated, and the fibre-pulp relationship is evaluated to create a better understanding of the variations in pulp quality that can be obtained during storage.

MATERIAIS E MÉTODOS

Cavacos de bambu comercial (3 a 5 anos de idade, espécies meridionais chinesas mistas) obtidos da Guangdong Shaoneng Group Co. Ltd., filial da Indústria de Papel Zhuji, cidade de Shaoguan, Província de Guangdong, China, foram cozidos para diferentes números kappa e branqueados para alvuras semelhantes de aproximadamente 88% ISO. Com as polpas de bambu branqueadas e refinadas foram produzidas folhas manuais após diferentes procedimentos de estocagem, inclusive variação desse tempo de estocagem.

Cozimento e branqueamento

Os cavacos de bambu foram classificados manualmente para remoção de astilhas, cavacos superdimensionados e nós. Os cavacos de bambu de tamanho aceitável tinham espessura máxima de 5 mm e cerca de 35 mm de comprimento. No processo de polpação foram usados NaOH e Na₂S de qualidade técnica, e a relação licor para madeira foi de 4:1. Após o cozimento a polpa foi meticulosamente lavada, desfibrada e depurada em peneira plana com fendas de 0,2 mm. A polpa aceita foi desaguada numa centrífuga e, em seguida, homogeneizada. À polpa kraft de bambu não-branqueada foi aplicada a sequência de branqueamento D₀(EOP)D₁, conforme exposto em estudo anterior nosso [16]. As condições adotadas no cozimento kraft e no branqueamento D₀(EOP)D₁ subsequente estão indicadas nas Tabelas 1 e 2, juntamente com as propriedades da polpa. As polpas de bambu não-branqueadas KP1 e KP2, com úmeros kappa 9,6 e 24,6, respectivamente, foram branqueadas para alvura final de aprox. 88% ISO ou superior.

Refinação e estocagem

As polpas de bambu branqueadas foram refinadas em moinho PFI de laboratório na Eka Chemicals, em Bohus, Suécia, conforme ISO 5264-2:2002. Imediatamente após a refinação foi preparada uma suspensão de polpa com concentração de 0,3% para estudo da estocagem. Os tempos de estocagem para as polpas refinadas foram variados em dois níveis, ou seja, sem estocagem (0 horas) e estocagem de um dia para o outro (24 horas). Durante a estocagem de 24 horas as polpas foram agitadas ou não-agitadas. A estocagem sob agitação foi realizada em um béquer mediante utilização de hélice de aço inoxidável de quatro pás, com diâmetro de varredura de 5 cm. A rotação da hélice era de 900 rpm, a temperatura ambiente e a consistência da polpa de 0,3%.

MATERIALS AND METHODS

Commercial bamboo chips (3–5 years old, mixed southern Chinese species) obtained from Guangdong Shaoneng Group Co. Ltd., Zhuji Paper Industry Branch, Shaoguan city, Guangdong Province, China, were cooked to different kappa numbers and bleached to similar brightness of approximately 88% ISO. Hand sheets were produced from the refined bleached bamboo pulps after different storage procedures, including a variation in storage time.

Cooking and bleaching

The bamboo chips were sorted by hand to remove pin chips and oversized chips and knots. The bamboo chips of acceptable size had a maximum thickness of 5 mm and a length of about 35 mm. Technical grade NaOH and Na₂S were used in the pulping process, in which the liquor-to-wood ratio was 4:1. After cooking, the pulp was thoroughly washed, defibrated and screened on a flat screen with 0.2 mm slots. Accepted pulp was dewatered in a centrifuge and then homogenized. The bleaching sequence D₀(EOP)D₁ was applied to the unbleached bamboo kraft pulp, as discussed in our pervious study [16]. The conditions used in the kraft cooking and subsequent D₀(EOP)D₁ bleaching are shown in Tables 1 and 2, along with the pulp properties obtained. The unbleached bamboo pulps KP1 and KP2, with kappa numbers 9.6 and 24.6, respectively, were bleached to a final brightness of approximately 88% ISO or above.

Refining and storage

The bleached bamboo pulps were beaten in a laboratory PFI-mill at Eka Chemicals, Bohus, Sweden, according to ISO 5264-2:2002. Immediately after refining a pulp suspension with a concentration of 0.3% was prepared for the storage study. Storage times for the refined pulps were varied at two levels, i.e. no storage (0 hours) and overnight storage (24 hours). During the 24-hours storage the pulps were either agitated or not agitated. The agitated storage was performed in a beaker using a four bladed stainless steel propeller with a sweeping diameter of 5 cm. The propeller was rotating at 900 rpm at room temperature and the pulp consistency was 0.3%. Sheet preparation was per-

Tabela 1. Condições de cozimento kraft do bambu e propriedades da polpa kraft resultante

Table 1. Kraft cooking conditions of bamboo and the resulting kraft pulp properties

Amostra Sample	Álcali efetivo (%) Effective alkali (%)	Sulfidez (%) Sulfidity (%)	Temp. de cozimento (°C) Cooking temp. (°C)	Tempo de cozimento (min) Cooking time (min)	Número kappa Kappa number	Alvura (% ISO) Brightness (% ISO)	Viscosidade (mL/g) Viscosity (mL/g)
KP1	23	25	155	180	9,6	41,0	1060
KP2	20	25	145	75	24,6	35,1	1197

Tabela 2. Branqueamento D₀(EOP)D₁ de polpa kraft de bambu e propriedades da polpa de bambu branqueada
Table 2. D₀(EOP)D₁ bleaching of kraft bamboo pulp and bleached bamboo pulp properties

Estágio / Stage	Condições / Issues	KP1	KP2
D ₀	Temp. (°C) / Temp. (°C)	65	70
	Tempo (min) / Time (min)	45	45
	Cl ativo (kg/t) / Act. Cl (kg/t)	20	50
EOP	Temp. (°C) / Temp. (°C)	75	80
	Tempo (min) / Time (min)	60	60
	NaOH (kg/t) / NaOH (kg/t)	9,5	17,0
	H ₂ O ₂ (kg/t) / H ₂ O ₂ (kg/t)	5	7
	Mg ²⁺ (kg/t) / Mg ²⁺ (kg/t)	0,15	0,30
	O ₂ press. (MPa) / O ₂ press. (MPa)	0,3	0,3
D ₁	Temp. (°C) / Temp. (°C)	75	75
	Tempo (min) / Time (min)	240	240
	Cl ativo (kg/t) / Act. Cl (kg/t)	10	20
Propriedades da polpa	Número kappa / Kappa number	0,9	1,4
	Alvura (% ISO) / Brightness (% ISO)	87,9	89,1
	Viscosidade (mL/g) / Viscosity (mL/g)	952	1200

A preparação das folhas foi feita dentro de uma hora após início da refinação. As folhas manuais (60 g/m²) foram preparadas conforme método padrão ISO 3688 com circulação de água branca. Foram feitas seis circulações antes da preparação final.

Ensaio

Todas as amostras de polpa (branqueada e não-branqueada) foram analisadas quanto a número kappa, viscosidade e alvura conforme normas ISO 302, 5351 e 2470, respectivamente. A refinação foi feita em moinho PFI. As polpas refinadas foram caracterizadas segundo o grau SR (ISO 5267-1:99) e as dimensões e defeitos das fibras (fator de forma e número de torções) foram definidos com uso de testador de fibras Fibre tester® na Eka Chemicals, em Bohus, Suécia. As propriedades de resistência mecânica (ou seja, tração, arrebentamento e rasgo) foram determinadas conforme ISO 1924-3, 2758 e 1974:1900, respectivamente. O ensaio zero-span reumedecido foi realizado por meio de aparelho zero-span Pulmac 2000 na Stora Enso, em Karlstad, Suécia, conforme ISO 15361.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito da estocagem nas propriedades das fibras de celulose

Neste estudo foram observadas diferenças e alterações nas dimensões das fibras durante a refinação e estocagem. Como era de se esperar, o comprimento das fibras e o número de torções por mm de fibra diminuíram, enquanto o fator de forma aumentou com um grau maior de refino em moinho PFI (ver Tabela 3). Isto significa que o endireitamento das fibras ocorreu durante a refinação em ambas as polpas,

formed within an hour from the start of refining. Handmade sheets (60 g/m²) were prepared according to the ISO standard method 3688 with white water circulation. Six circulations were done prior to the final preparation.

Testing

All pulp samples (bleached and unbleached) were analyzed for kappa number, viscosity and brightness according to ISO standards 302, 5351 and 2470, respectively. Beating was done in a PFI mill. The beaten pulps were characterized for SR-number (ISO 5267-1:99) and the fibre dimensions and defects of the fibres (shape factor and number of kinks) were described using a Fibre tester® at Eka Chemicals, Bohus, Sweden. The mechanical strength properties (i.e. tensile, burst and tear) were determined according to ISO 1924-3, 2758 and 1974:1900, respectively. Rewetted zero-span testing was performed using a Pulmac zero-span 2000 tester at Stora Enso, Karlstad, Sweden, according to ISO 15361.

RESULTS AND DISCUSSION

Effect of storage on pulp fibre properties

In this study differences and changes in fibre dimensions were observed during refining and storage. As expected, the fibre length and the number of kinks per mm fibre decreased, while the shape factor increased with a greater degree of refining in a PFI mill (see Table 3). This means that fibre straightening occurred during refining for both pulps, but to

Tabela 3. Características das fibras das duas polpas branqueadas de bambu antes e após o tratamento de estocagem
Table 3. Fibre characteristics of the two bleached bamboo pulps before and after storage treatment

Amostra Sample	PFI rpm PFI revs.	Comprimento das fibras (mm) Fibre length (mm)	Largura das fibras (μm) Fibre width (μm)	Fator de forma (%) Shape factor (%)	Torções por mm Kinks per mm	Zero-span reumedecido (Nm/g) Rewetted zero-span (Nm/g)
KP1 - Tempo 0 KP1 - time 0	0	1,541	18,1	81,5	0,848	120,2
	1000	1,550	18,6	85,4	0,651	122,4
	2000	1,536	18,9	85,7	0,616	122,4
	3000	1,494	19,0	86,0	0,618	121,2
KP1 - Tempo 24h com agitação KP1 - time 24 h agitated	0	1,556	18,2	81,5	0,849	118,0
	1000	1,520	18,1	84,1	0,705	121,9
	2000	1,482	18,6	85,5	0,641	122,2
	3000	1,465	18,7	85,3	0,665	118,1
KP1 - Tempo 24h sem agitação KP1 - time 24h non-agitated	0	1,525	18,1	81,8	0,843	117,9
	1000	1,543	18,5	84,8	0,661	125,1
	2000	1,512	18,7	86,1	0,603	123,3
	3000	1,468	19,0	86,3	0,627	121,6
KP2 - Tempo 0 KP2-time 0	0	1,609	18,0	86,4	0,493	156,4
	500	1,610	18,0	87,2	0,423	157,2
	1000	1,613	18,4	87,2	0,438	153,2
	2000	1,553	18,9	87,3	0,449	148,1
KP2 - Tempo 24h com agitação KP2 - time 24h agitated	0	1,567	17,9	86,4	0,508	151,1
	500	1,584	18,0	86,8	0,443	150,8
	1000	1,550	18,2	86,9	0,458	151,7
	2000	1,535	18,4	86,3	0,521	144,2
KP2 - Tempo 24h sem agitação KP2 - time 24h non-agitated	0	1,588	17,8	86,4	0,520	153,6
	500	1,611	18,0	87,2	0,425	154,5
	1000	1,600	18,3	87,2	0,436	152,2
	2000	1,579	18,6	86,9	0,476	147,1

mas com grandezas diferentes. Na **Figura 1** o número de torções está plotado *versus* os valores Schopper-Riegler, podendo-se notar que o número inicial de torções por mm de fibra era muito superior no caso da polpa KP1 (baixo número kappa) em comparação àquele da polpa KP2 (número kappa alto). Os formatos ligeiramente diferentes das curvas obtidas para as duas polpas não foram pesquisados em caráter adicional, pois isso extrapolaria o objetivo do estudo.

different extents. In **Figure 1** the number of kinks is plotted against the Schopper-Riegler values and it can be seen that the initial number of kinks per mm fibre was much higher for the KP1 pulp (low kappa number) when compared to that of the KP2 pulp (high kappa number). The slightly different curve shapes obtained for the two pulps was not investigated further, as it was outside the objective of the study.

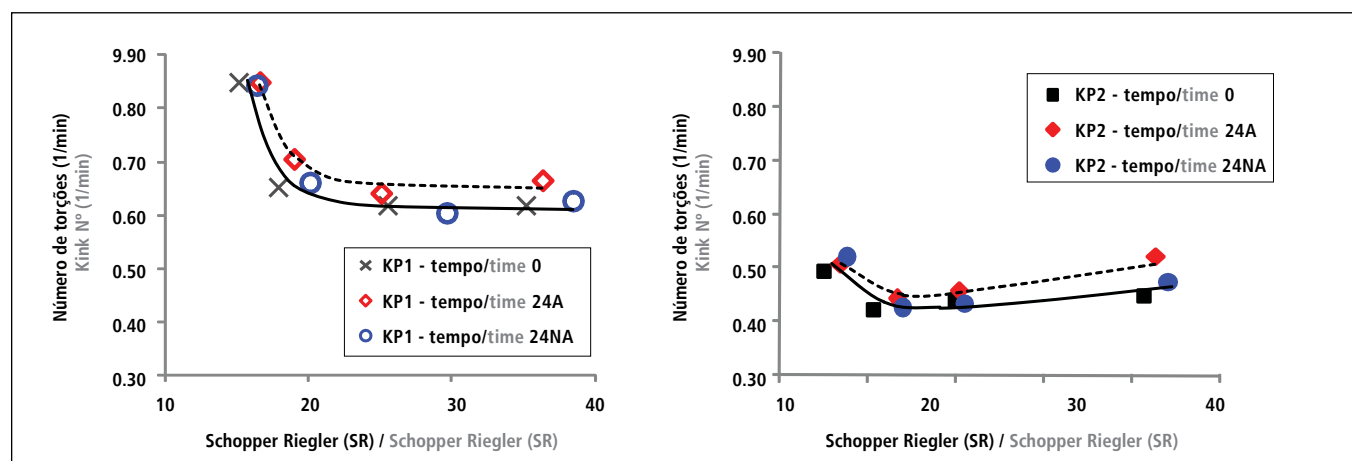


Figura 1. Número de torções das fibras em polpas branqueadas de bambu antes e após a estocagem. 24A corresponde a "estocagem agitada" e 24NA a "estocagem não-agitada" durante 24 h / **Figure 1.** Number of fibre kinks in bleached bamboo pulps before and after storage. 24A corresponds to "agitated" and 24NA to "non-agitated" for 24 hrs

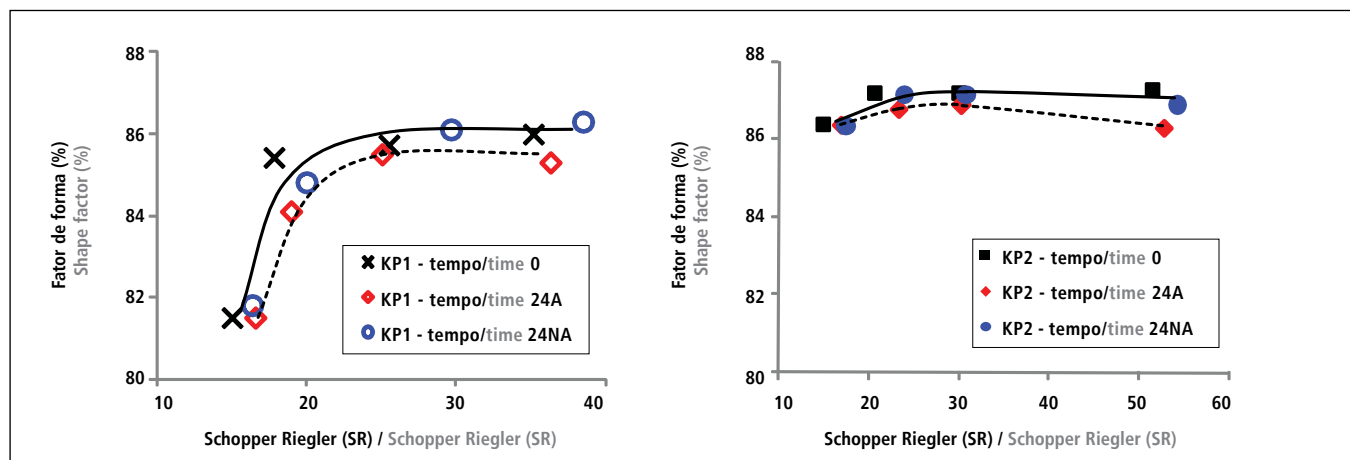


Figura 2. Fator de forma das fibras de polpa de bambu antes e após a estocagem para as duas polpas branqueadas de bambu / **Figure 2.** Shape factor of bamboo pulp fibres before and after storage for the two bleached bamboo pulps

A **Figura 2** mostra que o fator de forma era ligeiramente superior no caso da polpa KP2, isto é, essas fibras eram algo mais retas do que as fibras da polpa KP1, diferenças, essas, que se mantiveram após a refinação. As fibras mais encurvadas e o maior número de defeitos das fibras da polpa KP1 quando comparada com a polpa KP2 se deviam, provavelmente, ao tempo de cozimento kraft mais longo da polpa KP1. Após a estocagem (agitada ou não-agitada) de 24 horas a consistência de 0,3%, as amostras de polpa estocadas sem agitação apresentavam aproximadamente o mesmo número de torções por mm de fibra e o mesmo fator de forma das fibras das amostras de polpa que não tiveram nenhuma estocagem. Todavia, as amostras que tinham sido agitadas a 900 rpm durante a estocagem apresentavam características ligeiramente diferentes; como se pode ver nas Figuras 1 e 2, as amostras de polpa submetidas a agitação eram mais encurvadas do que as amostras que não foram agitadas. Assim, resultava óbvio que tratamentos mecânicos, inclusive os relativamente suaves, exerciam influência nas propriedades de resistência das fibras e, portanto, também na resistência da polpa. O efeito da estocagem sob agitação no fator de forma e no número de torções era ligeiramente maior quando o grau de refino era mais alto, o que significa, provavelmente, que as fibras eram mais sensíveis a tratamentos mecânicos após refinação mais intensa.

O teste zero-span reumedecido é uma medida usual da resistência da fibra e tem sido utilizado em estudos ao longo de muitos anos [6, 17]. Neste trabalho os valores de zero-span reumedecido das fibras foram analisados e os resultados são plotados contra o grau Schopper-Riegler na **Figura 3**. Pode-se ver que a estocagem sob agitação influenciou negativamente a resistência das fibras. No entanto, a resistência das fibras das amostras não-agitadas resulta praticamente não afetada caso a comparação fosse feita a determinado grau Schopper-Riegler. Portanto, a agitação relativamente suave feita a consistência muito baixa durante a estocagem reduziu de fato e ligeiramente a resistência das fibras e esse foi o caso para ambas as polpas. O efeito da estocagem nas amostras não-agitadas

In **Figure 2** it is shown that the shape factor was slightly higher for the KP2 pulp, i.e. these fibres were slightly straighter than the KP1 fibres. These differences were also maintained after refining. The curlier fibres and the higher number of fibre defects in the KP1 pulp than in the KP2 pulp were probably due to the longer kraft cooking time for the KP1 pulp. After storage (agitated or non-agitated) for 24 hours at 0.3% pulp consistency, the pulp samples stored without agitation had roughly the same no. of kinks per mm fibre and the same fibre shape factor as the pulp samples that had not been stored at all. However, the samples that had been agitated during the storage at 900 rpm had slightly different characteristics; as can be seen in Figure 1 and 2, the agitated pulp samples were curlier than the non-agitated samples. Thus, it was obvious that mechanical treatments, including relatively mild ones, had an influence on the fibre strength properties and, therefore, also on the pulp strength. The effect of agitated storage on the shape factor and on the number of kinks was slightly higher at a higher degree of refining, which probably means that the fibres were more sensitive to mechanical treatment after more intense refining.

The rewetted zero-span test is a common measure of fibre strength and it has been used in several studies over many years [6, 17]. In this study the rewetted zero-span values of the fibres were analyzed and the results are plotted against the degree of Schopper-Riegler in **Figure 3**. It can be seen that agitated storage influenced the fibre strength negatively. However, the fibre strength of the non-agitated samples was basically unaffected if the comparison was done at a given degree of Schopper-Riegler. Thus, the relatively mild agitation done at very low consistency during storage did in fact slightly reduce the fibre strength and this was the case for both pulps. The effect

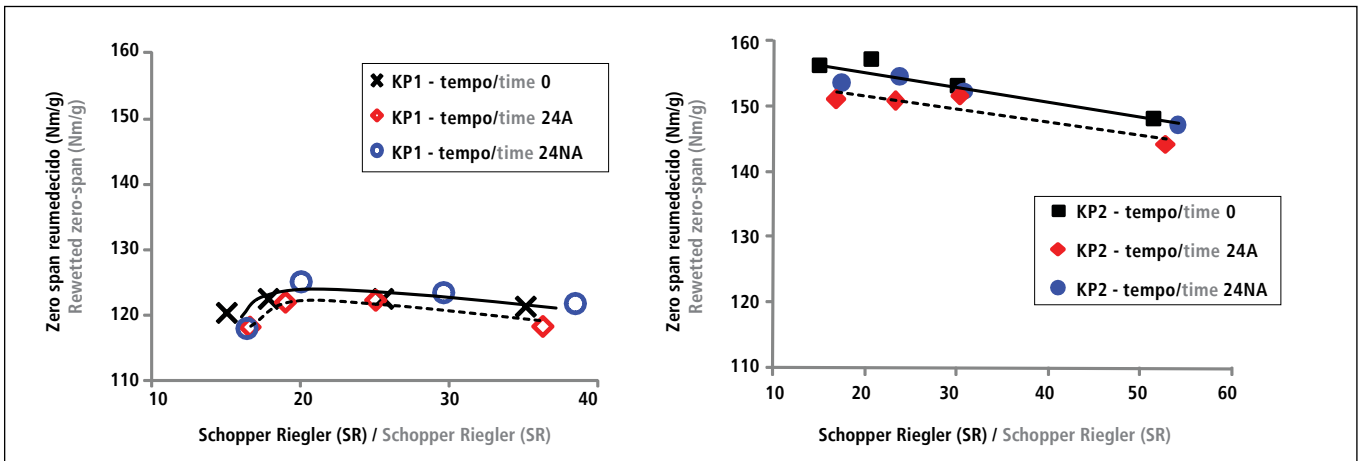


Figura 3. Índice zero-span reumedecido de fibras de polpas antes e após estocagem com ou sem agitação plotado versus o grau Schopper-Riegler
Figure 3. Rewetted zero-span index of pulp fibres before and after storage with or without agitation plotted versus the Schopper-Riegler degree

foi insignificante, como pode ser também visto na figura. Para uma análise detalhada dos dados ver também a **Tabela 3**. De observar que as duas polpas apresentam basicamente o mesmo formato de curva, com um aumento inicial e um subsequente valor máximo acima de certo grau Schopper Riegler.

A correlação entre o número de torções por mm de fibra e o índice de tração correspondente às duas polpas é indicada na **Figura 4**. Ao comparar os dois gráficos, o número de torções comparado a certo índice de tração era muito mais alto na polpa com kappa baixo, isto é, a polpa KP1. Também pode ser visto que, com exceção das polpas com o menor índice de tração, as amostras de polpa agitadas durante a estocagem apresentavam números de torções ligeiramente superiores àqueles das amostras de polpa não submetidas a agitação. Vale comparar esses resultados com os resultados da Figura 1, onde os números de torções também eram mais altos quando comparados a determinado grau Schopper Riegler. Os complicados resultados relativos a torções poderiam ser mais bem compreendidos se as torções forem distribuídas em torceduras, ângulo das dobras e tipo-cotovelos, que poderiam ser influenciados

of storage on the non-agitated samples was insignificant, as can also be seen in the figure. For detailed analysis of the data, also see **Table 3**. Note that the two pulps show basically the same curve shape, with an initial increase and a following maximum value above a certain Schopper Riegler value.

The correlation between the number of kinks per mm fibre and the tensile index for the two pulps are shown in **Figure 4**. When comparing the two graphs, the number of kinks compared at a given tensile index was much higher for the pulp with a low kappa number, i.e. the KP1 pulp. It can also be seen that, except for the pulps with the lowest tensile index, the pulp samples that had been agitated under storage showed slightly higher kink numbers than the non-agitated pulps samples. Compare these results with the results shown in Figure 1, where the kinks numbers also were higher compared at a given degree of Schopper Riegler. The complicated kinks results could be better understood when dividing the kinks into twists, angle folds and knee types, which could be influenced

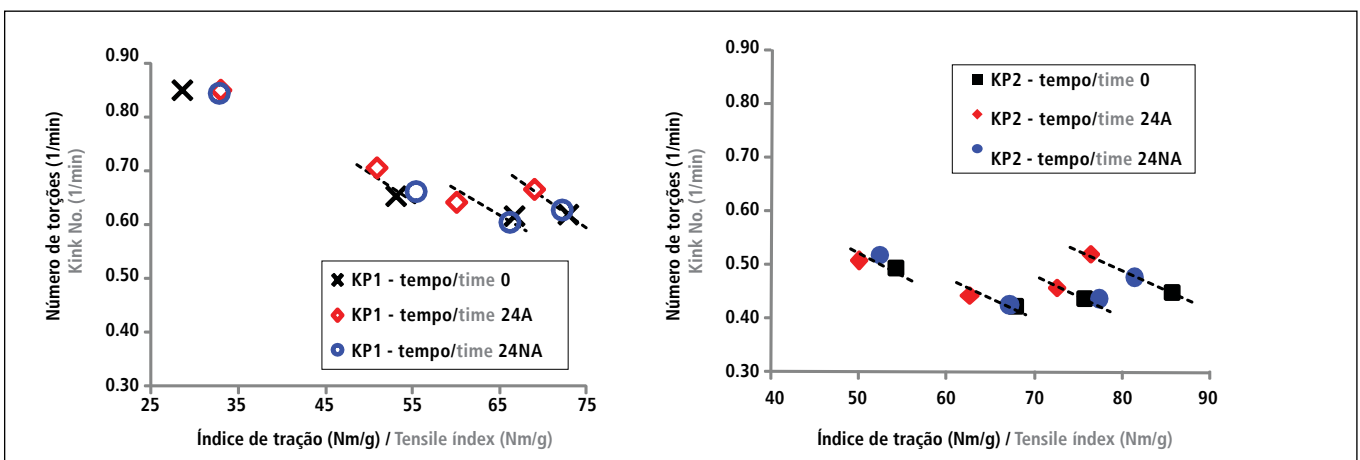


Figura 4. Torções por mm de fibra em função do índice de tração das duas polpas antes e após a estocagem
Figure 4. Kinks per mm fibre as a function of tensile index for the two pulps before and after storage

de diferentes maneiras pela estocagem com ou sem agitação. Isto é ulteriormente exposto por MOHLIN em seu trabalho [17].

Propriedades da folha de papel com relação às propriedades das fibras

A estocagem das polpas sob agitação também teve impacto negativo no índice de tração das folhas – ver **Figura 5**. Com grau Schopper-Riegler mais alto, o índice de tração da polpa KP1 foi reduzido em cerca de 5% após 24 horas de estocagem com agitação, mas em apenas 1% após 24 horas de estocagem sem agitação. No caso da polpa KP2 as reduções correspondentes foram de aprox. 11% e 5%. A estreita relação entre propriedades de resistência da polpa por um lado e encurvamento e defeitos das fibras de outro é demonstrada pelo fato de o índice de tração ter apresentado tendência semelhante relativamente a fator de forma e a número de torções por fibra.

É bem conhecido o fato de que as propriedades de resistência de folhas de celulose são influenciadas pela densidade aparente da folha e a densidade foi, por isso, plotada *versus* o valor Schopper-Riegler na **Figura 6**. Os dois gráficos mostram que a densidade aparente foi reduzida nas amostras de polpa que tiveram estocagem

in different ways by storage with or without agitation. This is further outlined by MOHLIN in her paper [17].

Paper sheet properties in relation to fibre properties

Storage of the pulps under agitation also had a negative impact on the tensile index of the pulp sheets, **Figure 5**. At the highest Schopper-Riegler number, the tensile index of the KP1 pulp was reduced with about 5% after 24 hours of storage with agitation, but by only 1% after 24 hours storage without stirring. In the case of the KP2 pulp, the corresponding reductions were about 11% and 5%. The close relationship between pulp strength properties on the one hand and curl and fibre defects on the other, is illustrated by the fact that the tensile index showed a similar trend regarding the shape factor and the number of kinks per fibre.

It is well known that the strength properties of pulp sheets are affected by the apparent sheet density and the density has therefore been plotted against the Schopper-Riegler value in **Figure 6**. The two graphs show that the apparent density was reduced for the pulp samples that had been agitated dur-

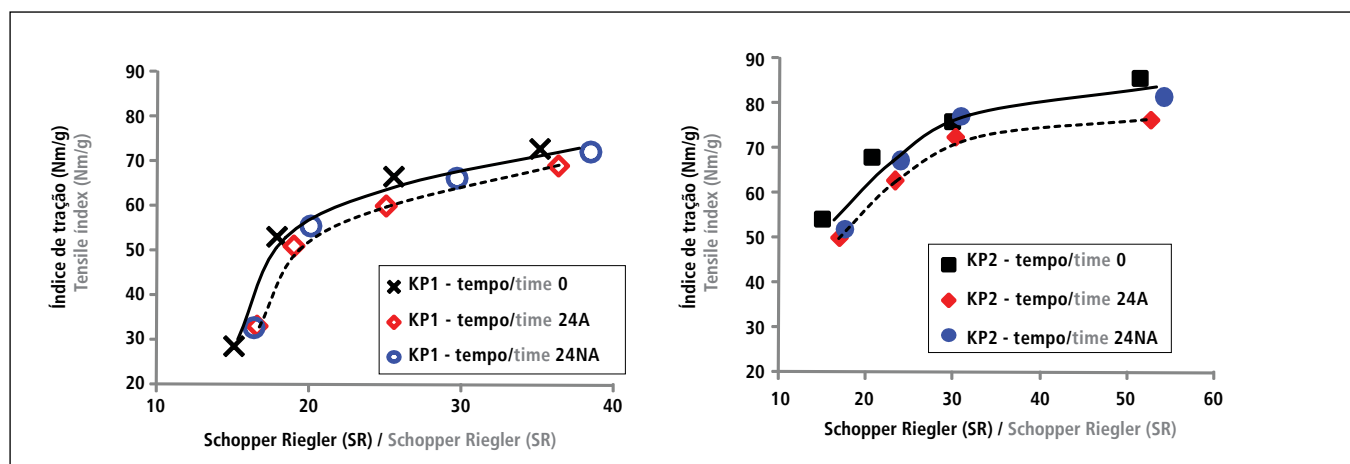


Figura 5. Efeito da estocagem no índice de tração de ambas as polpas branqueadas de bambu com diferentes graus de refinação
Figure 5. Effect of storage on the tensile index of both bleached bamboo pulps at different degrees of refining

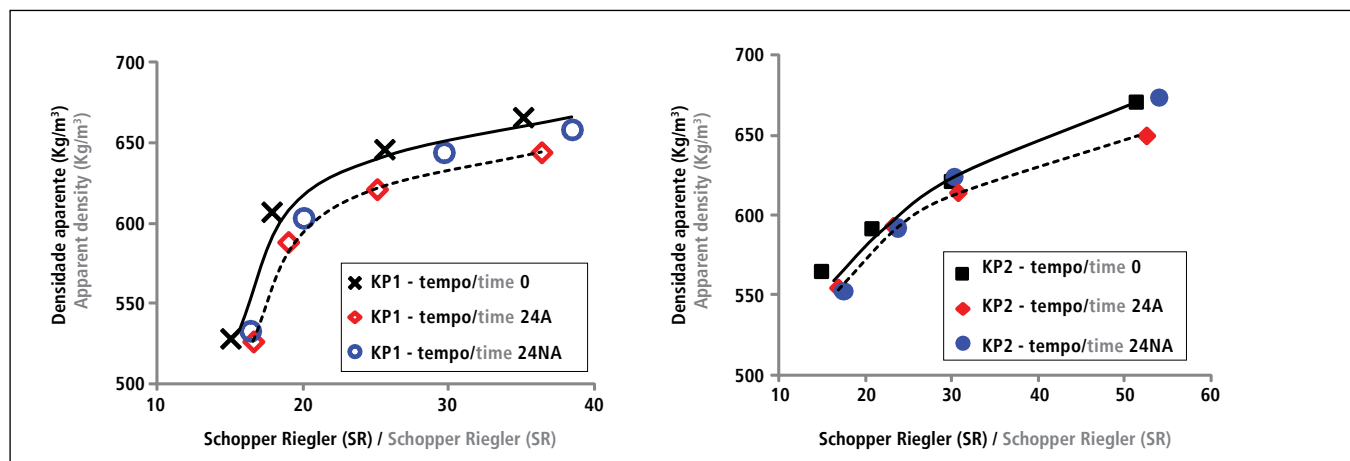


Figura 6. Efeito da estocagem na densidade aparente de polpas branqueadas de bambu antes e após a estocagem
Figure 6. Effect of storage on the apparent density of bleached bamboo pulps before and after storage

com agitação e que o efeito na polpa KP1 foi novamente maior, provavelmente devido às condições mais severas aplicadas durante o cozimento desta polpa. Para as amostras de polpa não-agitadas a densidade aparente manteve-se quase inalterada durante a estocagem. De observar que a resistência ao desaguamento, medida como grau Schopper-Riegler, aumentou continuamente com o prolongamento do tempo de refinação, enquanto a correspondente densidade aparente pareceu atingir um valor máximo limitante.

De modo geral, índice de tração e densidade aparente de uma polpa estão normalmente correlacionados e estes dois parâmetros foram, por isso, plotados um *versus* outro para verificar se também havia correlação para polpas de bambu – ver **Figura 7**. A figura mostra que este foi o caso, mas verificou-se que as duas polpas seguiam correlações diferentes quando a polpa de número kappa alto (KP2) apresentava índice de tração maior se comparada a dada densidade aparente. O maior índice de tração da polpa KP2 foi, muito provavelmente, resultado das condições de cozimento mais suaves adotadas para essa polpa. Os resultados na figura diferem do estudo de Mohlin com madeira de fibra longa, pois ela encontrou clara discrepância nas correlações entre índice de tração e densidade das amostras de polpa que foram armazenadas durante tempos diferentes. A razão de tal discrepância não ficou clara, mas o comportamento das fibras de polpa kraft de madeira de fibra longa poderia diferir daquele das fibras de polpa kraft de bambu em função de diferenças morfológicas, dimensionais e químicas. Outra diferença é que o estudo de Mohlin foi feito em escala piloto, enquanto nossas pesquisas foram realizadas com equipamento laboratorial de pequena escala.

A menor densidade aparente da folha de polpas estocadas sob agitação deveu-se, provavelmente, ao citado aumento do número de torções por mm de fibra bem como ao maior nível de encurvamento das fibras, o que levou as fibras a se compactarem menos densamente na estrutura da folha. Outras propriedades de resistência, como índice de arrematamento, TEA, alongamento e rigidez à tração foram também afetadas de modo semelhante àquele do índice de tração. Ainda, a polpa KP2 (número kappa 26) foi refinada mais facilmen-

ing storage and that the effect on the KP1 pulp was greater again, probably due to the harsher conditions used for that pulp during the cook. For the non-agitated pulp samples the apparent density was almost unchanged during the storage. Note that the dewatering resistance, measured as Schopper-Riegler, increased continuously with prolonged refining time, while the corresponding apparent density seemed to reach a limiting maximum value.

Generally speaking, the tensile index of a pulp and the apparent density are usually correlated and these two parameters were therefore plotted against each other to check if a correlation was also obtained for bamboo pulps, **Figure 7**. The figure shows that this was the case, but the two pulps were found to follow different correlations where the high kappa pulp (KP2) resulted in the highest tensile index compared at a given apparent density. The higher tensile index for the KP2 pulp was most probably a result of the milder conditions used in the cook for that pulp. The results in the figure differ from Mohlin's study on softwood fibres, as she found a clear discrepancy in the tensile index–density correlations of the pulp samples that had been stored for different times. The reason for this discrepancy was unclear, but the behaviour of softwood kraft pulp fibres might differ from that of bamboo kraft pulp fibres due to morphological, dimensional and chemical differences. Another difference is that Mohlin's study was done on pilot scale, while our investigations were done using small-scale laboratory equipment.

The lower apparent sheet density for the pulps stored under agitation was probably due to the above-mentioned increase in the number of kinks per mm fibre, as well as to the higher fibre curl level, which lead to the fibres in the sheet structure packing less densely. Other strength properties, like burst index, TEA, elongation and tensile stiffness were also affected in a manner similar to the tensile index. Furthermore, the KP2 pulp (kappa number 26) was easier

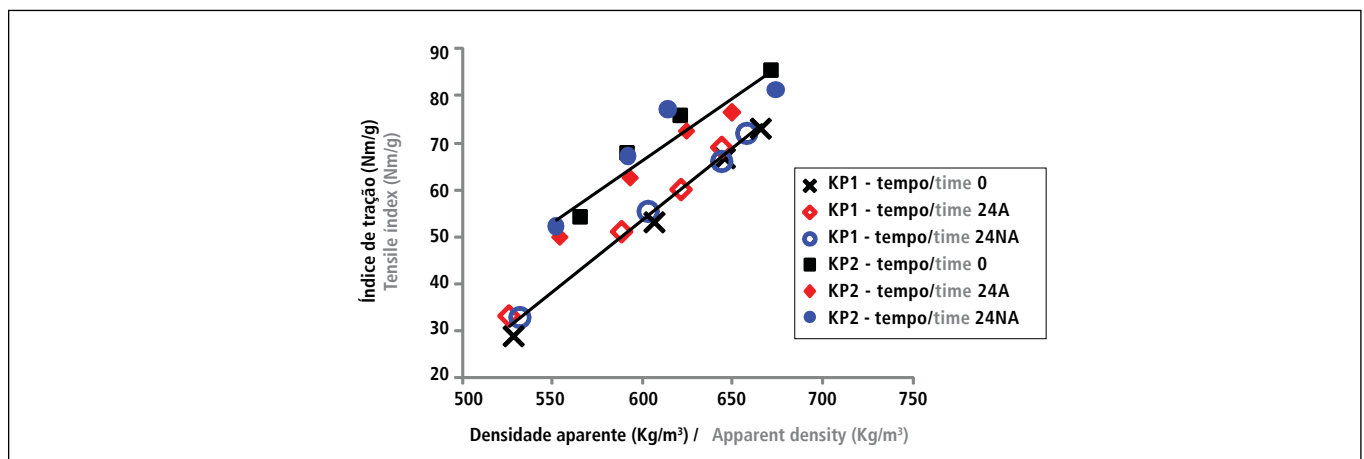


Figura 7. Índice de tração em função da densidade aparente para as duas polpas antes e após a estocagem
Figure 7. Tensile index as a function of apparent density for the two pulps before and after storage

te, teve melhores propriedades de resistência mecânica e densidade aparente da folha mais baixa a determinado valor de índice de tração em comparação à polpa KP1 (ver Tabela 4). Os resultados de resistência das fibras e da polpa que obtivemos em nosso estudo estão em concordância com resultados publicados anteriormente [15, 18].

to refine, had better mechanical strength properties and a lower apparent sheet density at a given tensile index value when compared to KP1 pulp (see Table 4). The fibre and pulp strength results that we obtained in our study agreed with earlier published results [15, 18].

Tabela 4. Propriedades de resistência das duas polpas branqueadas de bambu antes e após o tratamento de estocagem
Table 4. Strength properties of the two bleached bamboo pulps before and after storage treatment

Amostra Sample	PFI rpm	SR (°)	Densidade de aparente Apparent density (kg/m ³)	Índice de rasgo Tear index (mNm ² /g)	Índice de estouro Burst index (kPam ² /g)	Índice de tração Tensile index (Nm/g)	Along. Elong. (%)	Índice TEA TEA index (J/g)	Índice de rigidez à tração Tens. stiff. index (mNm/kg)
KP1- Tempo 0 KP1- time 0	0	15,1	528	12,4	1,6	28,6	1,68	0,35	4,95
	1000	17,9	607	14,3	3,2	53,1	3,23	1,23	6,50
	2000	25,6	646	12,7	4,3	66,7	3,37	1,58	7,54
	3000	35,2	666	12,3	5,0	72,9	3,67	1,83	7,50
KP1- Tempo 24h com agitação KP1- time 24hr agitated	0	16,6	526	13,4	1,6	32,9	1,97	0,48	5,67
	1000	19,0	588	15,0	3,1	50,9	2,65	0,96	6,80
	2000	25,1	621	13,9	4,0	60,1	3,38	1,43	6,97
	3000	36,4	644	13,6	4,4	69,0	3,48	1,68	7,53
KP1- Tempo 24h sem agitação KP1- time 24hr non-agitated	0	16,4	532	13,8	1,6	32,8	1,96	0,48	5,55
	1000	20,1	603	13,7	3,2	55,4	2,99	1,17	6,86
	2000	29,7	644	12,9	4,1	66,1	3,53	1,61	7,15
	3000	38,5	658	12,2	4,9	72,2	3,52	1,73	7,58
KP2- Tempo 0 KP2- time 0	0	15,0	565	15,1	3,0	54,1	2,24	0,84	7,00
	500	20,7	591	14,4	4,3	67,8	2,85	1,29	7,27
	1000	30,0	621	13,5	5,0	75,7	3,04	1,51	7,53
	2000	51,4	671	12,6	5,7	85,6	3,48	1,96	8,07
KP2- Tempo 24h com agitação KP2- time 24hr agitated	0	16,9	554	14,5	2,8	50,0	2,20	0,76	6,51
	500	23,3	593	14,1	4,0	62,6	2,47	1,03	6,99
	1000	30,3	624	13,6	4,5	72,5	2,75	1,32	7,77
	2000	52,7	650	13,2	4,9	76,4	3,17	1,62	7,75
KP2- Tempo 24h sem agitação KP2- time 24hr non-agitated	0	17,5	552	15,1	3,1	52,2	2,28	0,81	6,61
	500	23,8	592	15,5	4,2	67,2	2,57	1,15	7,42
	1000	30,8	614	13,9	4,7	77,2	2,96	1,51	7,80
	2000	54,1	674	12,6	5,7	81,3	3,30	1,77	7,81

CONCLUSÕES

Agitação de polpa branqueada de bambu a 900 rpm, temperatura ambiente e baixa consistência da massa (0,3%) durante estocagem de 24 horas teve efeito negativo tanto na resistência das fibras quanto na da polpa. A densidade aparente diminuiu ligeiramente, mas a relação entre índice de tração e densidade aparente permaneceu inalterada. A estocagem sob agitação induziu torções nas fibras e aumentou o número de encurvamentos das fibras o que, por sua vez, resultou em menor resistência das fibras e da polpa. Contudo, a estocagem sem agitação teve impacto muito limitado nas propriedades de polpa e fibras.

Este estudo tem primeiramente mostrado ser importante levar em consideração os efeitos da estocagem sob agitação quando celulose branqueada for preparada em laboratório ou em uma fábrica de celulose, pois estocagem sob agitação pode resultar em menor resistência da polpa. Em segundo lugar, foi observado que a classificação de polpas diferentes pode resultar incorreta se as polpas tiverem sido estocadas e agitadas antes de testadas. Finalmente, pode-se concluir ser importante que ao comparar polpas diferentes todas as amostras de polpa tenham tido o mesmo tempo de estocagem antes dos testes. ■

Agradecimentos

Devemos agradecimentos à Eka Chemicals pelo suporte financeiro a Sanchuan Guo e pela realização de alguns dos ensaios, e a Marinette Grimbeek pela conversão linguística do manuscrito.

CONCLUSIONS

Agitation of a bleached bamboo pulp slurry at 900 rpm, room temperature and low pulp consistency (0.3%) during storage for 24 hours had a negative effect on both the fibre and the pulp strength. The apparent density decreased slightly, but the relationship between the tensile index and the apparent density remained unaffected. Agitated storage induced fibre kinks and increased the number of fibre curls which, in turn, led to lower fibre and lower pulp strength. However, non-agitated storage had a very limited impact on pulp and fibre properties.

This study has firstly shown that it is important that the effects of agitated storage are taken into account when a bleached pulp is prepared in the laboratory or in a pulp mill, since agitated storage may lead to reduced pulp strength. Secondly, it has been noted that the ranking of different pulps can become erroneous if the pulps have been stored and agitated prior to testing. Finally, it can be concluded that if different pulps are being compared it is important that all pulp samples have had the same storage time prior to testing. ■

Acknowledgments

Thanks are due to Eka Chemicals for financially supporting Sanchuan Guo and for performing some of the tests, and to Marinette Grimbeek for the linguistic reversion of the manuscript.

REFERÊNCIAS / REFERENCES

- Jeyasingam, J.T. (1998). *Practical experience on paper making with non-wood fibres*. In: Proceedings of the Pulping Conference. Montreal, Quebec, Canada. Book 2, pp 767-774.
- Tang, H. (2005). *Manufacture of bamboo fibre based high brightness writing paper*. China Pulp and Paper, 24(1), pp 25-28.
- Zhao, G., Lai, R., Nilsson, J., et al. (2008). *Some implications of an ECF bleaching sequence for bamboo fibre in the use of fine paper production*. In: Proceedings of the 2nd International Papermaking & Environment Conference, Tianjin, China, May 14-16, pp 598-602.
- Rydholm, S.A. (1985). *Pulping Processes*. Robert E. Krieger, Malabar, FL, pp 1122-1125.
- Sixta, H. (2006). *Handbook of Pulp, Volume 2*. WILEY-VCH, Weinheim, pp 1281-1284.
- Ek, M., Gellerstedt, G. & Henriksson, G. (2009). *Pulp and Paper Chemistry and Technology, Volume 2*, Pulping Chemistry and Technology. Walter de Gruyter, Berlin, pp 439-450.
- Paulapuro, H. (2000). *Papermaking part 1, stock preparation and wet end. Chapter 4*. Fapet, Helsinki, pp 87-121.
- Zhao G., Lai R., Nilsson J., He B. and Greschik T. (2008). *Some implications of an ECF bleaching sequence for bamboo fiber in the use for fine paper production*. 2th International Papermaking & Environment Conference, Tianjing, China, 14-16 May, pp. 598-602.
- Rao A.R.K., Srinivasan G, and Maheshwari H.K. (1978). *Effect of beating on bamboo fibres*. Indian Pulp and Paper, February-March, pp. 35-46.
- Wai N.N. and Murakami K. (1983). *Characteristics of kraft pulp from Burmese bamboo*. International symposium on wood pulping chemistry. Tsukuba Science City, Japan, May, pp. 188-193.
- Heijnesson-Hultén A., Basta J., Greschik T., Zhang C., Guo S. and Zhan, H. (2008). *Influence of bleaching sequence on brightness stability, refining and chemical surface properties of kraft bamboo pulps*. International Conference on Pulping, Papermaking and Biotechnology 2008, 4-6 November, Nanjing, China, pp. 329-334.
- Heijnesson-Hultén, A., Guo S., Basta, J., Greschik, T., Zhan Z. and Germgård U. (2010). *The effect of cooking to different kappa numbers on refining and paper sheet properties*. In: Proceedings of 4th International Symposium on Emerging Technologies of Pulping and Papermaking, Guangzhou, China, 8-10 Nov. pp. 729-733.
- Mohlin, U-B. (2010). *Fibre properties and refining response for Scandinavian market softwood bleached kraft*, Scientific and Technical Advances in Refining and Mechanical Pulping, Barcelona, Spain, 28 Feb.-4 Mar., Refining and mechanical pulping, Paper 8.
- Mohlin, U-B. (2010). *Quality loss of refined softwood bleached kraft pulp during agitated storage*. Nordic Pulp & Paper Res. J., 25(1), pp 76-81.
- Guo, S., Heijnesson-Hultén, A., Basta, J. et al. (2010). *The influence of storage on bamboo pulps and paper quality*. In: Proceedings of 4th International Symposium on Emerging Technologies of Pulping and Papermaking, Guangzhou, China, 8-10 Nov.
- Greschik, T., Guo, S., Heijnesson-Hultén, A. et al. (2010). *The effect of bamboo cooking to different kappa numbers on pulp quality after cooking and bleaching*. 4th ISETPP, Guangzhou, China, 8-10 Nov.
- Mohlin, U-B. & Alfredsson, C. (1990). *Fibre deformation and its implications in pulp characterization*. Nordic Pulp & Paper Res. J., 5(4), pp 172-179.
- Heijnesson-Hultén, A., Guo, S., Basta, J. et al. (2010). *The effects on fibre and pulp properties when bamboo is cooked to different kappa numbers*. In: Proceedings of 4th International Symposium on Emerging Technologies of Pulping and Papermaking, Guangzhou, China, 8-10 Nov.