

## VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE CELULOSE NANOFIBRILADA POR DESFIBRILAÇÃO MECÂNICA

Caroline Jordão<sup>1</sup>, Francine C. Claro<sup>2</sup> e Washington L. E. Magalhães<sup>3</sup>

1 – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Paraná, [caroline.jordão@ufpr.br](mailto:caroline.jordão@ufpr.br) 2 - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, [ceconclaro@gmail.com](mailto:ceconclaro@gmail.com) 3 - Embrapa Florestas, [washington.magalhaes@embrapa.br](mailto:washington.magalhaes@embrapa.br)

**Classificação:** Métodos e Processos para Aumento da Escala de Produção de Nanoprodutos de interesse do Agronegócio

### Resumo

Em diversos setores vem crescendo o interesse pela aplicação da celulose nanofibrilada (CNF) devido às suas propriedades físicas excepcionais: como alta resistência, baixa densidade e translucidez, além dos benefícios ecológicos. Entretanto a CNF ainda não é produzida em larga escala. O objetivo deste estudo foi mensurar a energia consumida na produção de celulose nanofibrilada (CNF) pelo método mecânico *grinding*, propondo um processo em escala comercial e avaliando a viabilidade econômica. Para a produção de CNF, suspensões de polpa de celulose foram submetidas ao processo de desfibrilação mecânica em moinho de pedras, sendo registrada a energia consumida durante o processo. Ao final do processo foi mensurado uma energia de 4 kW.h/kg de CNF (base seca). Para uma operação em larga escala foi estimado um custo de produção de US\$ 3,9/kg, considerando matéria-prima e custos operacionais. Para análise de viabilidade econômica foi utilizada a ferramenta Valor Presente Líquido (VPL), sendo encontrado um VPL de US\$ 86.000 para um valor de venda de US\$ 11/kg. A produção de CNF em escala comercial é viável, considerando o baixo consumo de energia, além do valor positivo encontrado para o VPL.

**Palavras-chave:** Celulose nanofibrilada; Energia; Custos; Viabilidade Econômica

### ECONOMIC FEASIBILITY OF NANOFIBRILLATED CELLULOSE PRODUCTION BY MECHANICAL DESFIBRILLATION

#### Abstract

In several sectors, the interest in the application of nanofibrillated cellulose (NFC) has been increasing due to its exceptional physical properties: high strength, low density and translucency, as well as ecological benefits. However, NFC is not produced on a large scale yet. The aim of this study was to measure the energy consumption during the production of nanofibrillated cellulose by the mechanical method grinding, propose a large-scale process and evaluate its economic feasibility. It was found at the end of the process an energy of 4kW.h/kg of NFC (dry basis). To a large scale operation, it was estimated a production cost of US\$3,9/kg, considering raw materials and operational cost. The tool used for the analysis of the economic feasibility was the Net Present Value (NPV), for a selling price of US\$ 11/kg, it was found a NPV of US\$ 86.000. The study showed that commercial production of NFC is possible, due to the low energy consumption. Beside this, the project is viable, given the positive NPV found.

**Keywords:** Cellulose nanofibrillated; Energy; Cost; Economic Feasibility

## 1 INTRODUÇÃO

Os principais métodos de obtenção de celulose nanofibrilada (CNF) são tratamentos mecânicos, entre os quais se destacam homogeneização, microfluidização e *grinding*. O *grinding* tem como base o moinho *SuperMassColloider*, da marca Masuko Sangyi Co.<sup>®</sup> e vem sendo muito utilizado. O princípio deste método é passar a suspensão de celulose entre dois discos, sendo um estático e outro em rotativo. A força de cisalhamento resultante da rotação dos discos gera a desfibrilação da celulose (IWAMOTO et al, 2007). O maior desafio da produção de CNF através destes métodos é o grande consumo de energia envolvido. Tais processos consomem em média 20 – 30 kW.h/kg (SIRÓ e PLACKETT, 2010), até mesmo 70 kW.h/kg (ERIKSEN, 2008).

Spence et al. (2011) desenvolveram um estudo detalhado comparando a energia consumida para os três principais métodos mecânicos. De acordo com o estudo, o processo mais eficiente em relação à energia foi o método *grinding*, apresentando um consumo de 1,55 kW.h/kg de celulose nanofibrilada. O método também apresenta a vantagem de não precisar de pré-tratamento.

Apesar dos extensos estudos sobre celulose nanofibrilada que datam desde a década de 80, não há nenhum estudo sobre a parte econômica da produção de CNF e a viabilidade da produção em larga escala. Na literatura são encontrados apenas dados das estimativas do custo de produção baseado apenas na matéria prima (SPENCE et al, 2011; JONOBI; MATHEW; OKSMAN, 2012) e custos operacionais (CHAUVE; BRAS, 2014), porém nenhum apresenta um possível escalonamento do processo e a viabilidade econômica de uma planta industrial.

Este estudo tem como objetivo mensurar a energia consumida no processo *grinding* de desfibrilação da celulose em laboratório, e baseado nestes dados propor um escalonamento do processo e a viabilidade econômica em larga escala.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

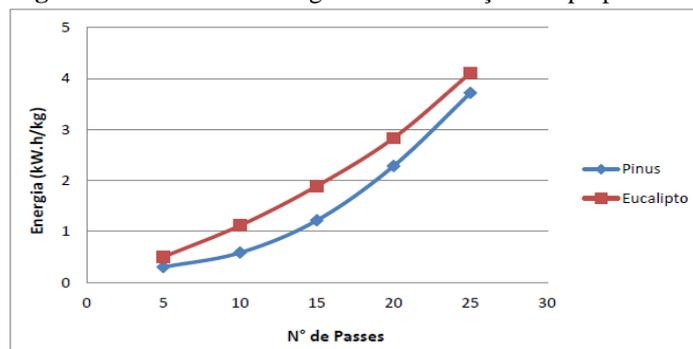
Para a avaliação do consumo de energia durante o processo de desfibrilação foram utilizadas polpas branqueadas de *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.* A polpa seca foi dispersa em água destilada em liquidificador laboratorial durante um minuto, gerando uma suspensão de fibras homogeneizadas na consistência de 3%. Tais amostras foram submetidas ao processo de desfibrilação mecânica no moinho coloidal *SuperMassColloider* MKCA6-2J da marca Masuko Sangyi Co. As suspensões de celulose foram submetidas ao moinho num total de 25 passagens, sendo cada passagem um ciclo completo da suspensão pelo moinho. Durante todo o processo registrou-se a energia consumida pelo medidor de grandezas elétricas Mult-K da marca Kron acoplado ao moinho. A frequência da rotação do disco do moinho foi controlada em 1500 rpm.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Consumo de energia e custo de produção

Os resultados do consumo de energia durante o processo de desfibrilação são mostrados na Figura 1. Os valores são dados em kW.h/kg de celulose nanofibrilada em base seca.

**Figura 1.** Consumo de energia na desfibrilação das polpas a 3%



Para a estimativa do custo de produção de celulose nanofibrilada foi utilizado como referência os resultados obtidos na desfibrilação de polpa ao final das 25 passagens. Tendo em vista os resultados obtidos, foi considerado um consumo de 4 kW.h/kg de celulose nanofibrilada.

A desfibrilação mecânica da polpa precisa de três entradas: celulose, água e energia. Para os custos destas entradas foram considerados US\$ 0,55/ kg de celulose, US\$ 2/m<sup>3</sup> de água e US\$ 0,13/kW.h para energia. A Tabela 1 mostra a quantidade necessária de cada entrada no processo para a produção de um quilograma de nanocelulose, o custo de cada entrada e o custo total.

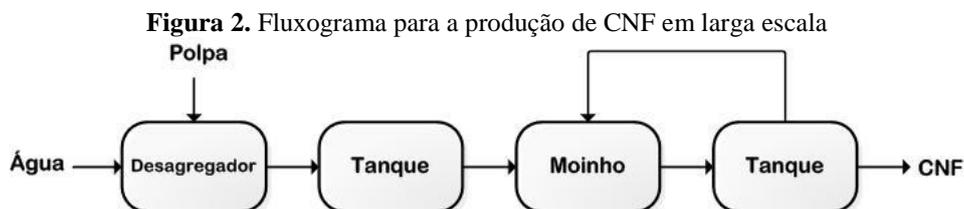
**Tabela 1.** Custo de produção da celulose nanofibrilada

Entrada	Quantidade	Custo (US\$)
Água (m <sup>3</sup> )	0,0320	0,064
Polpa (kg)	1,00	0,55
Energia (kW.h)	4,00	0,52
<b>Custo Total (US\$)</b>		<b>1,13</b>

Spence et al. (2011) estimaram um custo de US\$ 0,75/ kg, porém no estudo os pesquisadores consideraram uma energia de 1,5 kW.h/kg e um custo de energia elétrica de US\$ 0,10/kW.h. Jonoobi, Mathew e Oksman chegaram a um custo de US\$ 1,65/kg, para um consumo de energia de 1,7 kW.h/kg e um custo de US\$ 1,5/kg de polpa seca.

### 3.4 Escalonamento e estimativa de custos do processo em larga escala

Com base no processo de produção de celulose nanofibrilada através do método *grinding* desenvolvido em laboratório, foi proposto um processo em escala piloto-industrial, o qual é mostrado na Figura 2.



Com base no projeto proposto, foi levantado o custo dos equipamentos do processo. O custo do moinho coloidal foi fornecido diretamente pelo fabricante, os custos do desagregador e das bombas foram levantados por valores médios de mercado, enquanto os custos dos tanques foram calculados por correlações específicas (SEIDER et al, 2004). O valor encontrado foi de US\$ 230.000.

As estimativas dos custos operacionais levaram em conta a matéria-prima, a energia consumida, os custos de manutenção da planta, mão de obra, aluguel e depreciação. Como parâmetro para os custos operacionais foi considerado uma produção diária de 110 kg e uma planta operando 260 dias no ano. Os custos com matéria-prima e energia foram determinados usando os dados obtidos em laboratório e a produção estimada na planta, enquanto os custos de manutenção, mão de obra e de aluguel foram estimados. O valor encontrado para os custos operacionais foi US\$ 112.000 anual.

O custo de produção final é dado pelos gastos operacionais e depreciação pela quantidade de produto produzido. Levando em conta todos os valores apresentados anteriormente o custo final do produto é de US\$ 3,90/kg da suspensão de celulose nanofibrilada. Bras e Chauve (2014) estimaram um custo de US\$ 7 – 12/kg de material seco, com custos de matéria-prima e operacionais.

### 3.5 Análise de viabilidade econômica

Para a análise econômica foi considerado um valor de venda do produto de US\$ 11/kg (incluído impostos) e um período de 5 anos. A ferramenta utilizada na análise econômica foi o Valor Presente Líquido (VPL), onde o valor dos investimentos e do fluxo de caixa atual e futuro são

convertidos com valor equivalente atual. Se o VPL é positivo significa que o projeto é viável. A Equação 1 mostra como é feito o cálculo o VPL.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

t = tempo (anos ou meses)

n = tempo total projeto

i = taxa de desconto

FC = fluxo de caixa

Na análise feita, foi considerada uma taxa de desconto de 12% ao ano. Aplicando a ferramenta no fluxo de caixa do projeto com a taxa citada, foi encontrado um VPL de US\$ 86.000.

#### 4 CONCLUSÃO

A produção da celulose nanofibrilada em escala comercial é uma realidade, se antes inviável pelo alto consumo de energia (20 – 30 kW.h/kg), hoje possível pelo método *grinding*, o qual reduz o consumo de energia consideravelmente (1,5 – 4 kW.h/kg), tornando o escalonamento do processo viável.

O desafio do método proposto no projeto é a limitação de produção do moinho. Apesar do *SuperMassColloider* ser um grande avanço na parte energética, ainda esbarra no quesito de produção. Porém, mesmo com a limitação do equipamento, é possível uma produção em escala comercial.

O projeto realizado se mostra muito vantajoso para empresas do setor de celulose. Visto que o custo de produção da celulose nanofibrilada depende basicamente da polpa celulósica e energia, se incorporada a uma planta industrial de celulose, o custo da produção de CNF poderá reduzir drasticamente, considerando que além da matéria-prima, a planta industrial de celulose também gera energia.

#### AGRADECIMENTOS

À EMBRAPA Florestas, a Universidade Federal do Paraná pelo apoio e incentivo ao desenvolvimento deste estudo e à CAPES pelo apoio financeiro.

#### REFERÊNCIAS

ERIKSEN, Ø.; SYVERUD, K.; GREGERSEN, Ø. The use of microfibrillated cellulose produced from kraft pulp as strength enhancer in TMP paper. *Nordic Pulp Pap. Res. J.*, v.23, n.3, p. 299–304, 2008.

IWAMOTO, S.; NAKAGAITO, A. N.; YANO, H. Nano-fibrillation of pulp fibers for the processing of transparent nanocomposites. *Appl. Phys. A*, v. 89, n.2, p. 461–466, 2007.

SEIDER, W. D.; SEADER, J. D.; LEWIN, D. R. *Product and process design principles: synthesis, analysis, and evaluation*. 2nd. ed. J. Wiley, c2004. xviii, 802 p

SIRO, I.; PLACKETT, D. Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review. *Cellulose*, v.17 n.3, p.459–494, 2010.

SPENCE, K. L. et al. A comparative study of energy consumption and physical properties of microfibrillated cellulose produced by different processing methods. *Cellulose*, v.18, n. 4, p.1097–1111, 2011.

BRAS, J.; CHAUVE, G. Industrial Point of View of Nanocellulose Materilas and Their Possible Applications. In: OKSMAN et al. *Handbook of Green Materials: Processing Technologies, Properties and Applications*. World Scientific Publishing Company, Nova Jersey, 2014. p. 233–252.