

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL**  
**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**  
**CAMPUS CHAPECÓ**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ANÁLISE DA FRAÇÃO LÍQUIDA E SÓLIDA A PARTIR DO PRÉ-TRATAMENTO  
DA BIOMASSA DO SORGO SACARINO**

**ALUNO: Fernando Melz**

**ORIENTADOR: Dr. Guilherme Martinez Mibielli**

**Agosto de 2022**

**FERNANDO MELZ**

**Análise da fração líquida e sólida a partir do pré-tratamento da biomassa do sorgo sacarino.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: **Prof. Dr. Guilherme Martinez Mibielli**

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 29/08/2022

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 GUILHERME MARTINEZ MIBIELLI  
Data: 30/08/2022 09:35:31-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

**Prof. Dr. Guilherme Martinez Mibielli - UFFS**

Documento assinado digitalmente  
 JOAO PAULO BENDER  
Data: 30/08/2022 13:53:09-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

**Prof. Dr. João Paulo Bender - UFFS**

Documento assinado digitalmente  
 ALINE PERIN DRESCH  
Data: 30/08/2022 15:01:12-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

**Eng<sup>a</sup>. Ambient. Sanit. Aline Perin Dresch**

# ANÁLISE DA FRAÇÃO LÍQUIDA E SÓLIDA A PARTIR DO PRÉ-TRATAMENTO DA BIOMASSA DO SORGO SACARINO

Fernando Melz<sup>1</sup>, Guilherme M. Mibielli<sup>2</sup>

## RESUMO

Num cenário pós-pandêmico de altas na inflação, a atual guerra entre Rússia e Ucrânia, afetando todo o mercado mundial, que vem sofrendo com a escassez e controle autoritário de combustíveis derivados do petróleo, e sua conseqüente alta nos preços, faz com que os olhos se voltem a novas fontes energéticas, a fim de diversificar sua matriz de forma limpa e renovável. Dentro desse objetivo, o etanol de segunda geração, utilizando a biomassa do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor*) como matéria-prima, se torna atrativo por diversos fatores, como grandes quantidades de celulose e hemicelulose intrínsecas, que podem ser convertidas em etanol, curto ciclo de produção e por ser descartada na forma de resíduo agrícola no Brasil, devido o uso como planta de cobertura do solo no período entre safras. O desafio se dá na primeira etapa do processo, chamada pré-tratamento, que tem o intuito de quebrar a lignina presente na biomassa, a qual funciona como uma barreira e impede a liberação do conteúdo com potencial de ser transformada em etanol nas etapas posteriores. Neste trabalho utilizou-se diversos agentes químicos básicos na etapa de pré-tratamento, como o hidróxido de sódio, hidróxido de cálcio, óxido de cálcio, carbonato de cálcio, hidróxido de potássio e peróxido de hidrogênio, nas frações de 5% e 15% (m/m), juntamente com 10 gramas de biomassa e 100 mL de água em agitação por 24 horas a 70 °C e 200 rpm, para a realização de um estudo preliminar, a fim de entender qual o comportamento e os melhores agentes químicos na quebra da lignina da biomassa do sorgo. Após a etapa preliminar, uma nova rodada de estudos foi realizada com a combinação de dois pré-tratamentos seguidos, fixando os agentes químicos em 5% de concentração. As frações líquidas foram analisadas, a fim de verificar o comportamento de ambas e pode-se constatar que concentrações altas de agente químico pode degradar a glicose e os demais compostos presentes na fração líquida, principalmente no pré-tratamento em duas etapas, onde a maioria dos compostos foi degradada, porém é mais eficiente na remoção da lignina na fração sólida, onde o pré-tratamento com CaO a 15% (m/m) removeu 75,29% da lignina e mantendo 90,86% da celulose comparada a biomassa *in natura*, o que deve ser ponderado quando quer-se aumentar a eficiência utilizando as duas frações para a posterior produção de etanol.

**Palavras-chave:** Energia renovável. Etanol. Sorgo sacarino. Remoção de lignina. Biomassa. Combustíveis.

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

## ABSTRACT

In a post-pandemic scenario of high inflation, the current war between Russia and Ukraine, affecting the entire world market, which has been suffering from the scarcity and authoritarian control of oil-derived fuels, and its consequent rise in prices, makes the eyes turn to new energy sources, in order to diversify its matrix in a clean and renewable way. Within this objective, second-generation ethanol, using sweet sorghum biomass (*Sorghum bicolor*) as a raw material, becomes attractive due to several factors, such as large amounts of intrinsic cellulose and hemicellulose, which can be converted into ethanol, short cycle production and because it is discarded as agricultural residue in Brazil, due to its use as a ground cover plant in the period between harvests. The challenge takes place in the first stage of the process, called pretreatment, which is intended to break down the lignin present in the biomass, which works as a barrier and prevents the release of content with the potential to be transformed into ethanol in later stages. In this work, several basic chemical agents were used in the pretreatment step, such as sodium hydroxide, calcium hydroxide, calcium oxide, calcium carbonate, potassium hydroxide and hydrogen peroxide, in the fractions of 5% and 15% (w/w), together with 10 grams of biomass and 100 mL of water stirred for 24 hours at 70 °C and 200 rpm, to carry out a preliminary study in order to understand the behavior and the best chemical agents in the breakdown of sorghum biomass lignin. After the preliminary stage, a new round of studies was carried out with the combination of two consecutive pre-treatments, fixing the chemical agents at 5% concentration. The liquid fractions were analyzed in order to verify the behavior of both and it can be seen that high concentrations of chemical agent can degrade glucose and other compounds present in the liquid fraction, mainly in the pretreatment in two stages, where most of the compounds was degraded, but it is more efficient in the removal of lignin in the solid fraction, where the pre-treatment with 15% CaO (w/w) removed 75.29% of the lignin and maintaining 90.86% of the cellulose compared to biomass in natura, which must be considered when one wants to increase efficiency using the two fractions for the subsequent production of ethanol.

**Keywords:** Renewable energy. Ethanol. Sweet sorghum. Lignin removal. Biomass. Fuels.

## 1. INTRODUÇÃO

Com a crise energética que o Brasil e o mundo têm enfrentado de maneira cada vez mais expressiva, os processos alternativos de geração de energia têm despertado interesse e vem se tornando atrativos (SILVA, R, 2007). Como fomento na utilização e criação de energias renováveis, especificamente o bioetanol, em 1975 o governo brasileiro deu início ao Programa Brasileiro de Etanol, o pró-álcool (MASIERO, G. et al, 2008). Não obstante, mais recentemente o governo vem atuando na matriz energética, onde de acordo com a Lei 10.203, de 22 de fevereiro de 2001, a adição de vinte e dois por cento de álcool etílico anidro, na

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Chapecó, SC, Brasil.

gasolina aditivada e comum, tornou-se obrigatória em todo o território nacional (Brasil, 2001).

Masiero (2008) destaca as inúmeras tentativas governamentais para a pesquisa e desenvolvimento de combustíveis renováveis devido ao aumento do preço do petróleo, benefícios que a expansão dos biocombustíveis pode trazer aliada a redução das emissões de poluentes. Também é importante frisar que a energia é primordial para o desenvolvimento de um país e a independência em relação às fontes energéticas, principalmente a fóssil, tem auxiliado grandes potências mundiais em momentos de crise e medo. Nesse contexto, surge a necessidade da diversificação da matriz energética brasileira proveniente de fontes renováveis.

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2021), cerca 2,6 milhões de toneladas de sorgo foram produzidas na safra 2020/21, o que representa um aumento de 5,4% perante a safra anterior. Em termos de área plantada, corresponde a aproximadamente 849,5 mil hectares, com produtividade média entre 40 a 60 toneladas por hectare. O sorgo sacarino, aliado com a cana-de-açúcar, apresenta potencial elevado no incremento de combustíveis renováveis, levando em consideração os aspectos agrônômicos, e assim, podendo servir como um complemento nas plantas industriais produtoras de etanol. Essa planta quando exposta ao estresse hídrico demonstra alta tolerância, além de ter um ciclo de vida curto com cerca de 90 dias, ser totalmente mecanizada e pode ser utilizada na entressafra de cana-de-açúcar (PEREIRA FILHO et al., 2013). Todos esses benefícios da produção do sorgo sacarino no Brasil justificam a importância da pesquisa desse material como biomassa promissora no acréscimo da matriz energética nacional.

As estruturas que compõem as biomassas lignocelulósicas, como a do sorgo sacarino, apresentam arranjos complexos e compactos, o que traz a necessidade de uma etapa preliminar importante. Essa etapa, denominada de pré-tratamento - que pode ser física, química, biológica ou combinada - é responsável pela remoção da lignina, redução da cristalinidade da celulose e aumento da porosidade e área de contato. Todos esses benefícios do pré-tratamento expõem a celulose e a hemicelulose tornando-as susceptíveis à hidrólise, tendo um papel decisivo no rendimento final do processo. (RABELO, 2010; SANTOS, 2014). Após a remoção da lignina e exposição das cadeias longas dos polissacarídeos de celulose e hemicelulose pela etapa de pré-tratamento, faz-se necessário uma segunda etapa, intitulada de hidrólise enzimática, que visa a quebra dessas cadeias em mono e dissacarídeos, para então ser realizada a fermentação, convertendo os açúcares em etanol.

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Chapecó, SC, Brasil.

A biomassa de sorgo sacarino tem o teor de celulose e hemicelulose, em torno de 60% a 70%, associado com um percentual baixo de lignina, em torno de 20%, quando comparado ao bagaço da cana-de-açúcar, o que facilita as etapas iniciais do processo, como o pré-tratamento, podendo dessa maneira apresentar uma elevada conversão em açúcares fermentescíveis e consequentemente aumentar os níveis de produção de bioetanol (CAMARGO, 2016; CARVALHO et al., 2006; COELHO et al., 2015;).

A fase líquida do pré-tratamento pode trazer grande potencial caso seja agregada no rendimento final, podendo ser aproveitado se houver compostos fermentescíveis ou até mesmo trazer informações importantes acerca dessa etapa do processo e que não deve ser negligenciada.

Diante do exposto, como desafio atual, tem-se a investigação e melhoramento da etapa de pré-tratamento do material lignocelulósico do sorgo sacarino, esse estudo busca avaliar quais são as melhores rotas para a maximização dos processos supracitados, para a conversão em açúcares fermentescíveis, tanto da fase sólida, quanto da fase líquida, que é um dos produtos do pré-tratamento, e desta maneira trazer maior competitividade e benefícios para as rotas de produção dos combustíveis de segunda geração (2G).

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. MATERIAIS**

O sorgo sacarino utilizado neste estudo foi oriundo da área experimental agrícola da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, *Campus* Chapecó - Santa Catarina, Brasil, que após a colheita foi segregada de materiais, como terra, restos de vegetação, entre outros elementos indesejáveis. Após esta etapa, o mesmo foi seco em estufa a uma temperatura de 50 °C por aproximadamente dois dias, para a redução do teor inicial de umidade. Após a secagem, o material foi moído em moinho de facas para a obtenção de partículas menores e mais homogêneas, a fim de obter partículas de 30 mesh, aumentando a área de contato superficial.

### **2.2. CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA**

A caracterização físico-química da biomassa – distribuição granulométrica, teor de umidade, extrativos, carboidratos e lignina total - foi realizada utilizando como referência o procedimento padrão da National Renewable Energy Laboratory (NREL) descrito por SLUITER et al (2005a,b,c).

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Chapecó, SC, Brasil.

### 2.2.1. Análise da distribuição granulométrica

Para a análise da distribuição de partículas, foram utilizadas as peneiras da série Taylor de 10, 16, 30, 60 e 100 mesh, para a separação do material. Inicialmente pesou-se as peneiras limpas e secas, que posteriormente foram empilhadas na seguinte ordem: começando da bandeja inferior, 100, 60, 30, 16 e 10 mesh. Em seguida, adicionou-se 100 g do material em análise na parte superior da série de peneiras e estas foram presas em um agitador eletromagnético, sendo agitadas durante 15 min. Ao término do período, as peneiras foram novamente pesadas para determinar a massa retida em cada uma delas.

### 2.2.2. Determinação do Teor de Umidade

O objetivo desta análise é medir a quantidade de água e outros componentes voláteis a 105 °C presentes nas amostras. Para isso, placas de Petri foram previamente lavadas e secas a 105 °C em uma estufa, por aproximadamente 2 horas, resfriados em dessecador até temperatura ambiente e, posteriormente, pesados em balança analítica (M1). As amostras homogeneizadas de aproximadamente 6 g de biomassa foram pesadas nas placas de Petri e tiveram suas massas anotadas (M2). As amostras foram levadas para uma estufa a 105 °C e secas até peso constante (cerca de 24 h). Após este período, as mesmas foram retiradas da estufa e colocadas em um dessecador para que esfriem até a temperatura ambiente. As placas contendo as amostras absolutamente secas foram pesadas tendo suas massas anotadas (M3). Para todas as amostras foram realizados ensaios em triplicata. A concentração de umidade foi calculada a partir da Equação 01.

$$\% \textit{umidade} = \left(1 - \left(\frac{M3-M1}{M2-M1}\right)\right) \times 100 \quad (\text{Equação 01})$$

M1: Massa da placa de Petri vazia, em g.

M2: Massa da placa de Petri + amostra úmida, em g.

M3: Massa da placa de Petri + amostra absolutamente seca, em g

### 2.2.3. Determinação do Teor de Cinzas

A determinação do teor de cinzas tem como finalidade quantificar o material inorgânico na biomassa, estrutural ou extraível, como parte da composição total. Para a determinação do teor de cinzas utilizaram-se cadinhos de porcelana, devidamente numerados

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

e pesados em uma balança analítica (M1). Pesou-se cerca de 1,50 g do material, descontando o teor de umidade, nos cadinhos previamente pesados (M2). Em seguida, foi realizado o processo de carbonização do mesmo em mufla a 800 °C por no mínimo 4 horas. A calcinação foi repetida por mais 15 min para se verificar a constância do peso. Após, os cadinhos contendo a amostra foram pesados, tendo suas massas anotadas (M3), efetuando-se as análises em triplicata. Para o cálculo do teor de cinzas utilizou-se a Equação 02.

$$\% \text{ cinzas} = \left( \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 02})$$

M<sub>1</sub>: Massa do cadinho vazio, em g.

M<sub>2</sub>: Massa do cadinho vazio + massa da biomassa descontando o teor de umidade, em g.

M<sub>3</sub>: Massa do cadinho com cinzas, em g.

#### 2.2.4. Determinação do Teor de Extrativos

A determinação dos extrativos na biomassa apresenta duas finalidades: quantificar os extrativos para a análise compositora e remover o material não estrutural antes da quantificação da lignina e dos carboidratos, para que não haja interferência nestas etapas analíticas. Para a determinação adicionou-se aproximadamente 4,00 g da amostra, descontando o teor de umidade, ao cartucho de extração. Após a montagem do extrator, o cartucho preenchido pela biomassa foi introduzido no tubo de extração do soxhlet. Logo, adicionou-se 200 mL de água destilada em cada balão do extrator, como ilustrado na Figura 01. Colocou-se os balões no extrator ligando o aquecimento do mesmo para que o processo de sifonações iniciasse. A extração ocorreu até que o solvente em torno do cartucho se tornasse incolor.

Figura 01 – Aparato para determinação de extrativos

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.



Fonte: Acervo do autor

Após a extração em água, as amostras foram novamente submetidas à extração, utilizando agora 150 mL de álcool etílico em cada balão do extrator. A extração foi mantida até o desaparecimento total da coloração (aproximadamente 8 horas). Ao término da extração, os cartuchos foram retirados e secos em uma estufa a 105 °C até a massa constante. Para o cálculo do teor de extrativos recorreu-se a Equação 03.

$$\% \text{ extrativos} = \left( \frac{M_1 - M_2}{M_1} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 03})$$

M<sub>1</sub>: Massa da biomassa descontando o teor de umidade, em g.

M<sub>2</sub>: Massa da biomassa livre de extrativos, em g.

### 2.2.5. Determinação do conteúdo de lignina solúvel e insolúvel

No processo de hidrólise ácida concentrada pesou-se aproximadamente 0,30 g de cada amostra livre de extrativos, descontando o teor de umidade, em tubos de ensaio. Adicionou-se 3,00 mL de ácido sulfúrico a 72% (m/m) em cada tubo. Posteriormente, os tubos foram incubados em banho termostático a 30 °C por 1 h. Um bastão de vidro foi utilizado para agitar as amostras a cada 5-10 min, sem remover os tubos do banho.

Depois de decorrido o tempo da hidrólise ácida concentrada, os tubos foram retirados do banho e transferiu-se o conteúdo quantitativamente para erlenmeyers de 250 mL,

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

utilizando para isso, 84 mL de água destilada, sendo a concentração ácida do meio diluída para 4%. Preparou-se um branco com ácido sulfúrico a 4%. Para a completa hidrólise dos oligômeros, fechou-se os erlenmeyers com tampões e papel alumínio e após, foram colocados em uma autoclave, por 1 h a 121 °C e 1,1 bar. Após a descompressão da autoclave, os frascos foram retirados e expostos à temperatura ambiente antes de remover os tampões.

Os hidrolisados ácidos foram filtrados em funil a vácuo utilizando papéis de filtro. Armazenou-se as frações líquidas para a quantificação da lignina solúvel, carboidratos, conteúdo acetil, furfural e 5-hidroximetilfurfural. Em seguida, o papel filtro juntamente com os sólidos retidos foram transferidos para placas de Petri e encaminhados para estufa a 40 °C até massa constante (aproximadamente 20 min). Para que não haja uma superestimação dos dados de lignina insolúvel, o teor de cinzas determinado para cada material, segundo o método já explanado, deve ser descontado nos cálculos. Como demonstra a Equação 04.

$$\% \text{ lignina insolúvel} = \left( \left( \frac{M_2}{M_1} \right) \times 100 \right) - \% \text{ cinzas} \quad (\text{Equação 04})$$

M<sub>1</sub>: Massa da biomassa utilizada na hidrólise descontando o teor de umidade, em g.

M<sub>2</sub>: Massa da lignina insolúvel seca, em g.

% cinzas: Teor de cinzas da amostra livre de extrativos.

A análise da lignina solúvel foi determinada pela medida de absorbância em um espectrofotômetro UV-visível. Alíquotas de cada hidrolisado foram diluídas com água destilada em uma relação 1:100. Realizou-se a leitura da solução a 280 nm utilizando cubetas de quartzo. A leitura foi realizada em até 6 h após a hidrólise. Para o dimensionamento da lignina solúvel aplicou-se a Equação 05.

$$C \text{ lignina solúvel} = (41,87 (A_T * FD - A_{PD}) - 0,3279) 10^{-3}$$

$$A_{PD} = C_1 \varepsilon_1 + C_2 \varepsilon_2$$

$$\% \text{ lignina insolúvel} = \left( \frac{C_{\text{lignina insolúvel}} \cdot V_{\text{filtrado}} \cdot FD}{M_1} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 05})$$

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

$A_T$ : Absorvância da solução de lignina junto com os produtos de degradação a 280 nm.

$A_{PD}$ : Absorvância, a 280 nm, dos produtos de decomposição dos açúcares, cujas concentrações C1 e C2 serão determinadas previamente por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) e  $\epsilon_1$  e  $\epsilon_2$  são as absorvidades da furfural e HMF (146,85 e 114,00 L g<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>).

$C_{\text{lignina insolúvel}}$ : Concentração de lignina insolúvel.

$V_{\text{filtrado}}$ : Volume do hidrolisado filtrado, 0,087 L.

FD: Fator de diluição para leitura da absorvância, 100.

$M_i$ : Massa da biomassa utilizada na hidrólise descontando o teor de umidade, em g.

Por fim, a Lignina Total compreende a soma dos valores encontrados nas Equação 04 e Equação 05.

### **2.2.6. Determinação do conteúdo de carboidratos e produtos da decomposição**

#### **2.2.6.1. Preparo das amostras para curva de calibração dos carboidratos e produtos da decomposição.**

Para a quantificação dos carboidratos e produtos da decomposição em HPLC faz-se necessário a determinação de curva de calibração. A mesma deve ser determinada utilizando soluções de concentrações conhecidas correlacionadas com suas respectivas áreas obtidas após injeção no cromatógrafo (HPLC). Os resultados foram utilizados para determinar uma concentração desconhecida de açúcares a partir de uma área.

Preparou-se soluções padrões de concentração de celobiose, glicose, xilose, ramnose, ácido acético, furfural e 5-hidroximetilfurfural.

#### **2.2.6.2. Análise dos carboidratos**

Após a etapa de filtração da hidrólise ácida, as alíquotas de cada hidrolisado foram neutralizadas com carbonato de cálcio, em pó, até atingir pH 5-6. O carbonato deve ser adicionado lentamente, para assim, evitar a formação de espuma. Posteriormente, os

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Chapecó, SC, Brasil.

hidrolisados neutralizados foram filtrados diretamente em vials utilizando membrana PVDF não estéril com poros de 0,22 µm (Milipore).

As amostras e padrões foram injetados no cromatógrafo (HPLC) utilizando a coluna NST - 18. As condições de análise foram:

- Volume de injeção: 20 µL
- Fase móvel: água deionizada e desgaseificada
- Taxa de fluxo: 0,8 mL/min
- Temperatura do forno: 40 °C
- Temperatura do detector: 40 °C
- Detector: índice de refração
- Tempo de execução: 15 minutos

A concentração de açúcares será calculada conforme a equação 06.

$$\% \text{ açúcares} = \left( \frac{C_{HPLC} \times V_{filtrado}}{M_1} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 06})$$

$C_{HPLC}$ : concentração do açúcar quantificado por HPLC, em g/L

$V_{filtrado}$ : volume do hidrolisado filtrado, 0,087 L

$M_1$ : massa de biomassa utilizada na hidrólise descontando o teor de umidade, em g.

### 2.2.6.3. Determinação do teor de ácido acético

Para a quantificação do ácido acético nas amostras, foi utilizada a coluna NST-18. Para a fase móvel foi utilizada uma solução de ácido sulfúrico a 0,01 mol/L filtrada por filtros de poros de 0,45 µm e posteriormente desgaseificada.

As condições para análise do ácido acético foram:

- Volume de injeção: 20 µL
- Taxa de fluxo: 0,80 mL/min
- Temperatura de detector: 40 °C
- Detector: RID – 10A (Refractive Index Detector)/Shimadzu
- Tempo de execução: 15 minutos

Para determinar o conteúdo de acetato utilizou-se a Equação 07:

$$\% \text{ acetato} = \left( \frac{C_{A HPLC} \times V_{filtrado}}{M_1} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 07})$$

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

$C_{A\text{HPLC}}$ : concentração de ácido acético quantificado pelo HPLC, em g/L

$V_{\text{filtrado}}$ : volume de hidrolisa filtrado, 0,087 L

$M_1$ : massa de biomassa utilizada na hidrólise descontando o teor de umidade, em g.

#### 2.2.6.4. Determinação do teor de furfural e 5-hidroximetilfurfural

Para análises de furfural e de 5-hidroximetilfurfural, as amostras foram filtradas em membrana e injetadas em uma coluna NST-18, utilizando como fase móvel uma solução de água Ultrapura/Acetonitrila (85:15) acidificada com ácido acético (1%). As áreas dos picos correspondem ao furfural e 5-hidroximetilfurfural.

As condições para análise foram:

-Volume de injeção: 20  $\mu\text{L}$

- Taxa de fluxo: 0,80 mL/min

-Comprimento de onda: 280 nm

-Temperatura do detector: 40  $^{\circ}\text{C}$

-Detector: SPD – M20A (Diodo Array Detector)/Shimadzu

-Tempo de execução: 20 minutos

A porcentagem de furfural e de hidroximetilfurfural foram determinadas de acordo com a Equação 08 e a Equação 09, respectivamente.

$$\% \text{furfural} = \left( \frac{C_{F\text{HPLC}} \times V_{\text{filtrado}}}{M_1} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 08})$$

$C_{F\text{HPLC}}$ : concentração de furfural quantificado pelo CLAE, em g/L

$V_{\text{filtrado}}$ : volume de hidrolisa filtrado, 0,087 L

$M_1$ : massa de biomassa utilizada na hidrólise descontando o teor de umidade, em g

$$\% \text{hidroximetilfurfural} = \left( \frac{C_{H\text{HPLC}} \times V_{\text{filtrado}}}{M_1} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 09})$$

$C_{H\text{HPLC}}$ : concentração de ácido acético quantificado pelo CLAE, em g/L

$V_{\text{filtrado}}$ : volume de hidrolisa filtrado, 0,087 L

$M_1$ : massa de biomassa utilizada na hidrólise descontando o teor de umidade, em g.

#### 2.2.7. Determinação de celulose e hemicelulose

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

Os resultados que foram obtidos via cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) para as concentrações de celobiose, glicose, xilose, arabinose, ácido acético, furfural, e HMF foram utilizadas para calcular as porcentagens de celulose e hemicelulose presentes na biomassa lignocelulósica de sorgo, de acordo com as Equações 10 e 11. Utilizou-se fatores para converter açúcares monoméricos em anidromônômeros, tais fatores correspondem a 0,90 para glicose e 0,95 para a celobiose. De maneira similar, xilose e arabinose tiveram suas correlações efetuadas utilizando um fator de 0,88.

$$Celulose = 0,95C\% + 0,90G\% + 1,20HMF\% \quad (\text{Equação 10})$$

$$Hemicelulose = 0,88X\% + 0,88A\% + 1,37F\% + 0,72AA\% \quad (\text{Equação 11})$$

Em que C%, G%, HMF%, X% A%, F%, e AA% referem-se às porcentagens de celobiose, glicose, HMF, xilose, arabinose, furfural e ácido acético respectivamente.

### 2.2.8. Pré-tratamento e análise das frações líquidas e sólidas

Com o intuito de determinar a eficiência dos elementos químicos Hidróxido de Sódio (NaOH), Carbonato de Cálcio (CaCO<sub>3</sub>), Hidróxido de Potássio (KOH) e Peróxido de Hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) na biomassa utilizada para o estudo, algumas condições como temperatura a 70 °C, agitação a 200 rpm e tempo de incubação em 24 horas foram fixadas. Estes valores foram obtidos de acordo com os melhores resultados encontrados por Bohn et al. (2018), para a biomassa do milho, que tem características parecidas com o sorgo. As melhores condições de maximização não foram avaliadas no estudo em questão.

Para a efetivação do pré-tratamento foram pesadas 10 gramas de biomassa lignocelulósica, em frascos de vidro tipo Erlenmeyers aletados, nos quais adicionou-se 100 mL de uma solução com os agentes químicos supracitados nas concentrações fixas de 5% e 15% (m/m), resultando em uma solução com uma razão sólido/líquido de 100 g/L. A reação de pré-tratamento básico ocorreu em agitador orbital, modelo Shaker SL-223 da marca SOLAB, a 70 °C e 200 rpm durante 24 horas. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

Após esse procedimento, os frascos foram retirados do agitador orbital e colocados em repouso até atingir a temperatura ambiente. Uma bomba a vácuo com filtros de papel foi utilizada para realizar a separação da fração sólida e líquida. Uma fração da fase líquida foi filtrada em vials, utilizando filtros de nylon estéril com poros de 0,45 µm (Milipore) e

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

enviada diretamente para análise do conteúdo de carboidratos e produtos da decomposição presentes na biomassa conforme descrito nos itens 2.2.6 e 2.2.7.

Já a fração sólida foi levada para secagem em estufa por 24 horas numa temperatura de 105 °C e posteriormente pesada. Depois de seca, a fração sólida foi caracterizada de acordo com a metodologia descrita dos itens 2.2.3 ao 2.2.7, sendo pesada em todas as etapas para realização do balanço de massa.

Após os processos descritos acima, uma nova rodada de ensaios foi realizada, fixando um agente químico que demonstrou potencial, mantendo os compostos de interesse. Dessa vez utilizando 5% de hidróxido de sódio, fazendo a incubação por 24 horas a 70 °C e 200 rpm. Após o término da primeira etapa a fração sólida foi lavada e novamente incubada por 24 horas a 70 °C e 200 rpm, com os seguintes agente químicos: Carbonato de cálcio, hidróxido de cálcio, hidróxido de potássio e hidróxido de sódio, todos a 5% (m/m), somando mais 4 rodadas de experimentos. Ao término da segunda etapa a fração líquida foi retirada, filtrada e enviada para análise no HPLC.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

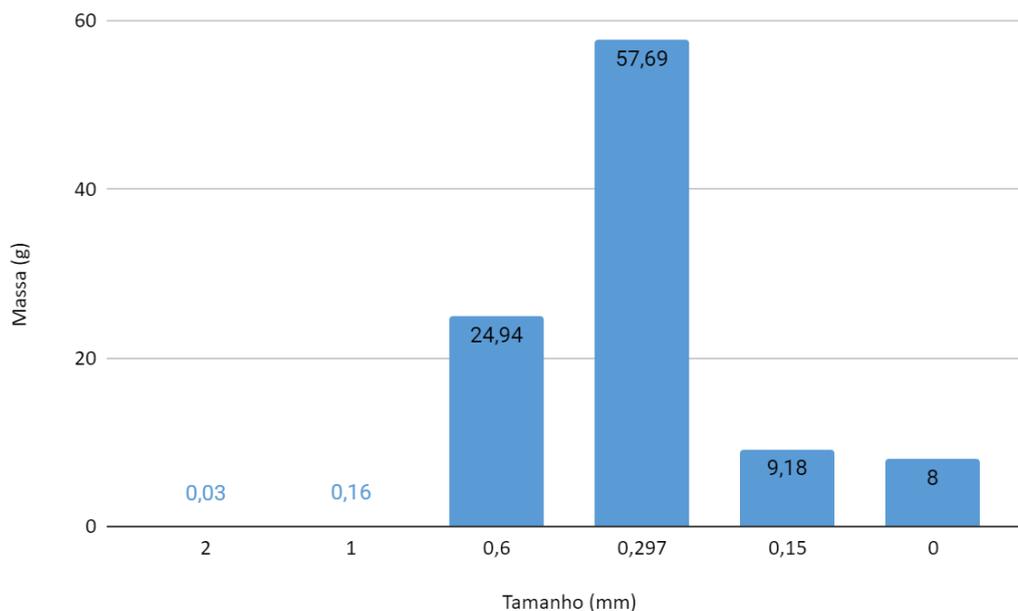
#### **3.1. CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA**

Com o intuito de conhecer as características iniciais da biomassa *in natura*, o processo de caracterização foi realizado, iniciando com a granulometria após a moagem em moinho de facas da biomassa do sorgo sacarino. Esse processo garante uma homogeneidade das amostras, sendo que a área superficial de contato é aumentada significativamente, fazendo com que os agentes químicos interajam melhor com a biomassa, apresentando uma estabilidade nos resultados. A distribuição granulométrica da biomassa sorgo sacarino pode ser observada na Figura 02.

Figura 02 - Distribuição de frequência dos diferentes tamanhos de partículas da biomassa sorgo sacarino.

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível observar através da análise de distribuição granulométrica que 57,69% das partículas apresentam diâmetro de 0,297 mm (60 mesh) e que 74,87% das partículas tem diâmetro igual ou inferior a 0,6 mm (30 mesh). Dessa forma, objetivando a homogeneidade das amostras, optou-se por realizar os ensaios de caracterização com a biomassa que passou pela peneira de 30 mesh.

Na sequência, a fim de entender os compostos presentes na biomassa, obtendo informações pertinentes para maximizar as etapas de pré-tratamento e estabelecer os possíveis rendimentos de glicose e parâmetros para remoção da lignina, o estudo referente à composição química da biomassa sorgo sacarino são apresentados na Tabela 1.

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

Tabela 1- Composição química da biomassa de sorgo sacarino.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (m/m)	%
Umidade	8,39 ± 0,06
Cinzas	3,23 ± 0,11
Extrativos	15,91 ± 1,06
Lignina total	22,88 ± 0,39
Celulose	30,41 ± 1,02
Hemicelulose	19,79 ± 1,34
Total	100,60 ± 3,98

Fonte: Elaborado pelo autor

A quantidade desses componentes na biomassa lignocelulósica depende de alguns fatores, como clima, regimes de chuvas, disponibilidade de nutrientes, mas geralmente contêm entre 35-50% de celulose, 20-25% de hemicelulose e 10-25% de lignina. Existem também parcelas menores de cinzas e extrativos (SANTOS et al., 2012).

Visando os compostos celulose e hemicelulose, que podem ser convertidos em etanol após a hidrólise em monossacarídeos e subsequente fermentação, o sorgo sacarino apresenta cerca de 50,20% (m/m) do total, sendo extremamente importante para a viabilização da produção de biocombustíveis. Também é possível identificar que a lignina, principal foco deste trabalho, representa cerca de 22,88% (m/m), o que condiz com a literatura, sendo o desafio a sua remoção sem degradar os compostos de interesse (açúcares fermentecíveis) e sem a formação de inibidores.

### 3.2. PRÉ-TRATAMENTO

Quando falamos em etanol de segunda geração, é quase impossível sua produção sem que esta etapa seja realizada, pois as biomassas utilizadas, na sua maioria, são lignocelulósicas e possuem estruturas, como a lignina, que apresentam rigidez tornando-as recalcitrantes à ação hidrolítica, dificultando o processo de conversão aos seus monômeros e impedindo a produção de etanol.

O pré-tratamento, para esse caso, é responsável pela quebra da lignina aumentando a exposição das fibras da celulose e hemicelulose, tornando-as acessíveis aos agentes hidrolíticos. Para essa etapa, alguns parâmetros iniciais foram testados como, agente químico,

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

concentração do agente químico, pré-tratamento simples (uma etapa) e duplo (duas etapas). A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos nessa primeira etapa, em porcentagem e base seca.

Tabela 2 - Composição química da biomassa sorgo sacarino após os pré-tratamentos de uma etapa.

Agente químico	Concentração (% m/m)	Cinzas (%)	Extrativos (%)	Lignina total (%)	Celulose (%)	Hemicelulose (%)
NaOH	5	5,61±0,1	30,27±0,7	20,42±0,13	37,37±1,0	5,60±0,3
NaOH	15	10,70±0,2	20,18±0,9	16,51±0,5	46,64±1,7	5,24±0,7
KOH	5	2,65±0,2	13,47±0,7	17,87±0,7	39,55±1,1	24,63±1,2
CaO	5	4,64±0,05	18,48±0,6	16,78±0,8	37,12±1,3	21,86±1,4
CaO	15	11,15±0,9	29,54±0,8	11,81±0,5	38,58±0,8	18,47±0,5
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	5	2,55±0,7	18,61±0,9	26,86±0,9	35,82±0,7	20,00±0,6
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	15	2,67±0,9	20,91±0,1	25,01±1,1	36,34±0,1	19,62±1,3

É possível observar que para o ensaio realizado com NaOH a 15% de concentração do agente químico, obteve 46,64% de celulose, sendo a maior concentração em termos de porcentagem, bem como uma concentração de lignina de 16,51%, representando uma perda de aproximadamente 9,56% de lignina em relação a biomassa *in natura*. Quando falamos em lignina propriamente, a maior redução ocorreu com o agente químico CaO a 15%, o qual obteve-se a concentração em porcentagem de 11,81%, representando uma perda de 11,07% em relação a biomassa *in natura*, em base seca.

A fim de melhor visualizar os resultados, um balanço de massa foi realizado. Já que os compostos podem estar sendo degradados ou até mesmo sendo arrastados para a fração líquida no decorrer do pré-tratamento. Com relação a este arraste, foi realizada a análise para identificar os compostos presentes na fase líquida, a qual será mostrada mais a frente. Sem esta análise, os resultados podem levar a conclusões errôneas. Com o balanço de massa é possível identificar, em termos de gramas de biomassa, o que se encontra presente no final da

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

etapa de pré-tratamento. Os dados da Tabela 3 apresentam os resultados obtidos através do balanço de massa, descrito em gramas.

Tabela 3 - Balanço de massa e composição química da biomassa sorgo sacarino após o pré tratamento de uma etapa.

<b>Agente químico</b>	<b>Massa após o pré-tratamento (g)</b>	<b>Cinzas (g)</b>	<b>Extrativos (g)</b>	<b>Lignina total (g)</b>	<b>Celulose (g)</b>	<b>Hemicelulose (g)</b>
<b>Biomassa <i>in natura</i></b>	10	0,35	1,78	2,55	3,39	2,21
<b>NaOH (5%)</b>	7,31 ± 0,19	0,41	2,21	1,49	2,73	0,41
<b>NaOH (15%)</b>	5,69 ± 0,20	0,61	1,15	0,94	2,66	0,30
<b>KOH (5%)</b>	7,27 ± 0,28	0,19	0,98	1,30	2,88	1,79
<b>CaO (5%)</b>	7,72 ± 0,14	0,36	1,43	1,30	2,87	1,69
<b>CaO (15%)</b>	9,39 ± 0,09	1,05	2,77	1,11	3,62	1,73
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (5%)</b>	8,15 ± 0,02	0,20	1,44	2,07	2,77	1,54
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (15%)</b>	8,19 ± 0,006	0,22	1,71	2,05	2,98	1,61

Podemos identificar a partir dos resultados da Tabela 3 que o pré-tratamento que retirou a maior quantidade de lignina ocorreu com a utilização de 15% de NaOH, caindo de 2,55 g na biomassa *in natura* para 0,95 g na biomassa pré-tratada, mas em contrapartida apresenta uma das menores concentrações de celulose e hemicelulose, o que não é interessante, já que para a produção de etanol esses compostos são essenciais. Deve-se obter a maior concentração possível de celulose e hemicelulose, com a maior quebra da lignina.

Quando olhamos para o pré-tratamento com CaO a 15%, percebemos que a concentração de celulose foi maior que a inicial, o que não pode acontecer de fato, então um ponto foi levantado quanto a filtragem da biomassa após o pré-tratamento, que em alguns

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

agentes químicos formavam uma espécie de pasta, o que saturava o filtro de papel imediatamente.

Dessa forma, muitos compostos que estavam presentes na fase líquida ficavam presos em função do filtro. Para isso, optou-se em realizar a filtração da biomassa pré-tratada com filtros de pano, que possuem uma abertura maior de poros, mas ainda assim retendo a biomassa, deixando o solubilizado passar.

A Tabela 4 apresenta os dados obtidos com a filtração de pano, fazendo um comparativo com o filtro de papel, sendo o pré-tratamento aplicado utilizando CaO a 15 % (m/m).

Tabela 4 - Comparativo entre utilização de filtros de papel e filtros de pano para o pré-tratamento com CaO a 15%.

<b>Composto químico</b>	<b>Filtro de papel</b>		<b>Filtro de pano</b>	
	<b>%</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>%</b>	<b>Massa (g)</b>
<b>Cinzas</b>	11,15	1,05	9,86	0,79
<b>Extrativos</b>	29,54	2,77	22,79	1,82
<b>Lignina Total</b>	11,81	1,11	7,92	0,63
<b>Celulose</b>	38,58	3,62	38,64	3,08
<b>Hemicelulose</b>	18,47	1,73	19,35	1,54

É notório que muitos compostos como lignina, celulose e extrativos, principalmente, que estavam presentes no meio acabavam ficando presos devido a baixa porosidade e rápida saturação dos filtros de papel. Essa retenção dos compostos solubilizados interferem diretamente nas metodologias de caracterização, dando interferências nos resultados das análises, pois mesmo não fazendo mais parte da estrutura da biomassa, e dando passagem para os agentes hidrolíticos, para a quebra da celulose e hemicelulose nos seus monômeros, ainda são contabilizados, como se fizessem parte da biomassa, o que pode não ser verídico.

Uma das formas de comprovação dessa hipótese, seria justamente levar os ensaios para o segundo patamar, onde uma hidrólise enzimática seria realizada, para então contabilizar os monômeros, como a glicose. Se esses valores de glicose da biomassa

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

pré-tratada fossem maiores do que os da biomassa *in natura*, teríamos uma comprovação mais fiel da efetividade do agente químico no pré-tratamento.

Mas mesmo com a utilização do filtro de papel, alguns agentes químicos demonstraram bons resultados na quebra ou remoção da lignina, mantendo a celulose. A Tabela 5 mostra em porcentagem a redução da concentração de lignina e celulose, relacionando com a biomassa *in natura*.

Tabela 5 - Comparação da remoção de lignina e celulose na etapa de pré-tratamento.

	NaOH (5%)	NaOH (15%)	KOH (5%)	CaO (5%)	CaO (15%)	CaO (15%) - Filtro de pano	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (5%)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (15%)
<b>Lignina</b>	41,57%	63,14%	49,02%	49,02%	56,47%	75,29%	18,82%	19,61%
<b>Celulose</b>	19,47%	21,53%	15,04%	15,34%	-6,78%	9,14%	18,29%	12,09%

Ainda vale ressaltar que para se ter uma boa eficiência na conversão da biomassa em bioetanol no final do processo, não é necessário liquidar com a lignina, zerando-a, mas sim quebrar sua estrutura, abrindo fissuras e para que os agentes hidrolíticos consigam ter acesso ao conteúdo interior, anteriormente protegido pela lignina.

### 3.3. ANÁLISE DA FRAÇÃO LÍQUIDA DO PRÉ-TRATAMENTO

A análise da fração líquida pode nos dar informações preciosas quanto à etapa de pré-tratamento em si. Essas informações podem ser referentes a intensidade do pré-tratamento realizado pelo agente químico, pois se essa for exagerada, poderá formar compostos inibidores, por exemplo. Outra situação, é a presença de açúcares fermentescíveis na fase líquida, podendo ser reutilizados, diminuindo o custo de produção do bioetanol e aumentando sua competitividade. As Tabelas 6 e 7 apresentam os resultados obtidos a partir da análise da fração líquida dos pré-tratamentos determinada por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência da biomassa com um pré-tratamento e com dois pré-tratamentos seguidos, respectivamente. As unidades de medida foram representadas em g/L.

Tabela 6 - Resultados da análise da fração líquida do pré-tratamento em uma etapa da biomassa do sorgo sacarino.

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

	<b>NaOH (5%)</b>	<b>NaOH (15%)</b>	<b>KOH (5%)</b>	<b>KOH (15%)</b>	<b>CaO (5%)</b>	<b>CaO (15%)</b>	<b>H2O2 (5%)</b>	<b>H2O2 (15%)</b>
<b>Celobiose</b>	0,55	1,19	0,75	0,50	0,59	0,11	0,16	0,00
<b>Ác. Galacturônico</b>	0,00	3,01	-	-	-	-	-	-
<b>Glicose</b>	2,79	0,00	3,31	0,36	2,93	0,31	2,78	0,00
<b>Xilose</b>	1,22	0,37	4,47	1,75	4,22	0,64	3,71	1,27
<b>Ác. acético</b>	2,13	3,25	1,69	3,07	2,44	0,00	0,00	0,00
<b>HMF</b>	0,0003	0,0006	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,000	0,000
<b>Furfural</b>	0,007	0,01	0,003	0,004	0,004	0,005	0,003	0,003

Quando olhamos para o pré-tratamento com NaOH as concentrações de glicose caem de 2,79 g/L para zero, quando aumentamos a concentração do agente químico de 5% para 15% respectivamente, sendo que as concentrações indesejáveis de ácidos, como o acético e o galacturônico, que podem funcionar como inibidores para as etapas seguintes, sobem consideravelmente. Dessa forma, para esse agente químico, chegamos à conclusão de que para um possível aproveitamento da fração líquida, sua concentração não deverá ser elevada, sendo que isso não resulta em rendimento maiores e acaba degradando os compostos de interesse.

O KOH demonstrou melhores resultados para essa etapa, apresentando uma concentração de glicose de 3,31 g/L, e ainda mais elevada, a concentração de xilose, sendo essa um subproduto da quebra da hemicelulose, apresentando 4,47 g/L. Para um melhor entendimento, mais estudos devem ser realizados, variando seus parâmetros, para identificar a melhor concentração a ser utilizada no pré-tratamento e o submetendo a fermentação propriamente dita, para verificar se a glicose da fração líquida é convertida em etanol.

As concentrações de furfural e 5-hidroximetilfurfural são pequenas, o que se torna extremamente positivo, sendo que esses compostos se tornam inibidores das próximas etapas de produção de bioetanol.

A Tabela 7 apresenta os resultados do pré-tratamento em duas etapas, onde o composto utilizado na primeira etapa foi o NaOH a 5% (m/m) e os compostos utilizados na segunda etapa são o CaCO<sub>3</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub>, KOH e novamente o NaOH, respectivamente, todos a 5% de concentração (m/m). O resultado apresentado na Tabela 07 faz referência ao final das duas

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

etapas, já que o resultado da fração líquida da com o NaOH a 5% em somente uma etapa está representada na Tabela 06.

Tabela 7 - Resultados da análise da fração líquida do pré-tratamento em duas etapas da biomassa do sorgo sacarino.

	NaOH + CaCO <sub>3</sub>	NaOH + Ca(OH) <sub>2</sub>	NaOH + KOH	NaOH + NaOH
<b>Celobiose</b>	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Ácido galacturônico</b>	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Glicose</b>	0,79	0,70	1,92	1,96
<b>Xilose</b>	0,00	0,00	1,04	1,00
<b>Ácido acético</b>	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>HMF</b>	0,02	0,02	0,01	0,01
<b>Furfural</b>	0,13	0,12	0,05	0,06

A primeira diferença notável na Tabela 7 é que quando realizamos dois pré-tratamentos em sequência, muitos compostos não se fazem mais presentes, podendo ser resultado de uma série de fatores, como o tempo combinada com a alta temperatura, já que são 48 horas de pré-tratamento a 70 °C, a combinação dos agentes químicos, entre outros. Mas de fato esses compostos são transformados em outros, que não são detectados no HPLC, o que para a fração líquida não se torna viável, sendo um indicativo que esse tipo de pré-tratamento, nessas condições, se torna muito severa para os compostos desejáveis.

Também é possível notar o aumento significativo de furfural e 5-hidroximetilfurfural, sendo mais um indicativo que o pré-tratamento em duas etapas é muito severo para a biomassa.

A partir disso, inúmeras combinações poderiam ser feitas, para tentar encontrar as condições perfeitas, principalmente com as concentrações, tempo e temperatura dos ensaios, onde um pequeno parâmetro já pode alterar completamente o resultado. Esses resultados são um ponta pé inicial no estudo da biomassa do sorgo sacarino para a produção do bioetanol e abrem espaço para que mais estudos sejam realizados, para que de fato possa-se incrementar a biomassa na matriz energética brasileira.

#### 4. CONCLUSÃO

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, SC, Brasil.

A utilização de fontes renováveis de energia, como as biomassas, mais especificamente na produção de bioetanol, vem ganhando cada vez mais espaço, pensando principalmente nos cenários mundiais atuais. A diversificação da matriz energética de um país é de suma importância, sendo que traz independência para tomar ações emergenciais quando necessário. Esse aumento poderá ser alcançado pela introdução de novas matérias primas, como a biomassa do sorgo sacarino, que além do incremento na matriz energética, agrega valor ao produto e gera emprego na sua cadeia de produção.

A biomassa de granulometria inferior a 30 mesh utilizada nesse estudo apresentou sua composição química equivalente à faixa reportada na literatura para materiais lignocelulósicos. Ressalta-se que perfez um total de 50,20% das estruturas de celulose e hemicelulose, as quais podem ser convertidas em bioetanol.

Para os pré tratamentos, os dados de porcentagem nos desviam um pouco do real resultado obtido no pré-tratamento. Somente quando realizamos o balanço de massa identificamos alguns problemas relacionados com a filtragem do material pré-tratado, onde o filtro saturado imediatamente, não deixando passar compostos já solubilizados. O pré-tratamento com CaO a 15% demonstrou melhores resultados quando filtrado com o pano, retirando cerca de 75,29% de lignina e mantendo 90,86% da celulose.

Por fim, a adição de mais um etapa de pré-tratamento degradou a maioria dos compostos relevantes presentes ao final do processo, não se tornando viável. Já no pré-tratamento único o KOH demonstrou maior potencial tendo em sua composição 3,31 g/L de glicose e 4,47 g/L de xilose, podendo sinalizar um aproveitamento da fração líquida também.

Muitos estudos e aprimoramentos são necessários, sendo que se trata de um estudo inicial da biomassa, onde o intuito é justamente verificar o comportamento da mesma nos processos, encontrando desafios e pensando em soluções viáveis. No decorrer do trabalho, problemas foram encontrados e soluções tiveram que ser pensadas, como o uso do filtro de pano. Mas, com os resultados obtidos nesse trabalho, abrem-se portas e afinam-se possibilidades para os próximos estudos, que já possuem um norte, buscando melhores rendimentos.

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Chapecó, SC, Brasil.

## REFERÊNCIAS

BOHN, L. R. Produção De Bioetanol a Partir de Biomassa Lignocelulósica de Milho. 2018. 21 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, 2018.

BRASIL. Lei nº 10.203, de 22 de fevereiro de 2001. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, p. 1, 22 fev. 2001. Disponível em:<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/110203.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110203.htm)>. Acesso em: 02 julho 2022.

CAMARGO, Danielle. **Biotechnology for production of ethanol from fraction of cellulosic and hemicellulosic sweet sorghum**. 2016. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

CARVALHO, G. G. P.; PIRES, A. J. V.; VELOSO, C. M.; MAGALHÃES, A. F.; FREIRE, M. A. L.; SILVA, F. F.; SILVA, R. R.; CARVALHO, B. M. A. Valor nutritivo do bagaço de cana-de-açúcar amonizado com quatro doses de ureia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 1, p. 125-132, 2006.

COELHO, L. F. D.; SIMEONE, M. L. F.; PARRELLA, R. A. C.; DAMASCENO, C. M. B. Caracterização química do bagaço de sorgo sacarino. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC/CNPq, 9., 2015, Sete Lagoas. [Trabalhos apresentados]. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v.8– Safra 2020/21, n.9 - Nono levantamento, Brasília, p. 1-121, junho 2021.

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Chapecó, SC, Brasil.

Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 03 de julho de 2022.

MASIERO, G. et al. Etanol e biodiesel como recursos energéticos alternativos: perspectivas da América Latina e da Ásia', **Revista Brasileira de Política**, v. 51, n. 2, p. 60, 2008. Disponível em: <<https://doaj.org/article/c9432b50474a49c7b05c15d850606ba0?frbrVersion=3>>. Acesso em: 01 julho de 2022.

OGEDA, THAIS LUCY E PETRI, DENISE F. S. **Hidrólise Enzimática de Biomassa**. Química Nova [online]. 2010, v. 33, n. 7 [Acessado 4 Julho 2021] , pp. 1549-1558. Epub 27 Set 2010. ISSN 1678-7064. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000700023>>. Acesso em: 04 julho 2022

PEREIRA FILHO, I. A.; PARRELLA, R. A. C.; MOREIRA, J. A. L.; MAY, A.; SOUZA, V. F.; CRUZ, J. C. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] em diferentes densidades de semeadura visando a características importantes na produção de etanol. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 2, p. 118-127, 2013.

RABELO, Sarita Cândida. **Avaliação e otimização de pré-tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração**. 2010. 447 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP, 2010. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/266933>>. Acesso em: 03 julho 2022.

SANTOS, Martha Suzana Rodrigues dos. **Estudo de pré-tratamentos de palha e sabugo de milho visando a produção de etanol 2G**. 2014. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2014.

SANTOS, F. A.; QUIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S.T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. *Química nova*, vol.XY, N°00,1-7, 2012.

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Chapecó, SC, Brasil.

SANTOS, F. G.; TARDIN, F. D. **Cultivo do sorgo: cultivares. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo**, 2007. (Sistemas de Produção, 2). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 02 agosto 2022.

SILVA, R. Energias renováveis. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 1, n. 1, p. 35-42, 11. Disponível em: <[https://redib.org/Record/oai\\_articulo2391212-energias-renovaveis](https://redib.org/Record/oai_articulo2391212-energias-renovaveis)>. Acesso em: 03 julho 2022.

SOUZA, C. C.; DANTAS, J. P.; SILVA, S. M.; SOUZA, V. C.; ALMEIDA, F. A.; SILVA, L. E. Produtividade do Sorgo granífero cv. sacarino e qualidade de produtos formulados isoladamente ou combinados ao caldo de cana-de-açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimento**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 512-517, 2005.

SLUITER, A.; HAMES, B.; RUIZ, R.; SCARLATA, C.; SLUITER, J. e TEMPLETON, D. **Determination of Ash in Biomass**. National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2005b.

SLUITER, A.; HAMES, B.; RUIZ, R.; SCARLATA, C.; SLUITER, J. e TEMPLETON, D. **Determination of Total Solids in Biomass**. National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2005a.

SLUITER, A.; RUIZ, R.; SCARLATA, C.; SLUITER, J. e TEMPLETON, D. **Determination of Extractives in Biomass**. National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2005c.

TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 204 om-88: solvent extractives of wood and pulp**. Atlanta: Tappi Tecnology Park, 1996.

UNICA - União da Indústria de Cana-de-açúcar. Produção e uso do Etanol combustível no Brasil. São Paulo – SP. 2007. Disponível em: < <http://www.unicadata.com.br/>>. Acesso em: 13 julho 2022.

<sup>1</sup> Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Chapecó, SC, Brasil.