

**Influência da agitação magnética e granulometria das partículas da farinha da casca da  
manga em um processo de hidrólise ácida**

**Influence of magnetic stirring and particles size of mango peel flour in an acid  
hydrolysis process**

**Influencia de la agitación magnética y el tamaño de las partículas de harina de cáscara  
de mango en un proceso de hidrólisis ácida**

Recebido: 19/08/2020 | Revisado: 28/08/2020 | Aceito: 02/09/2020 | Publicado: 03/09/2020

**Breno Eduardo Carlos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1182-7850>

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil

E-mail: [breno.eduardo1999@hotmail.com](mailto:breno.eduardo1999@hotmail.com)

**Karina Estrela Egídio**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8491-0081>

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil

E-mail: [karina.e.e45@gmail.com](mailto:karina.e.e45@gmail.com)

**Marcelo Nascimento de Moraes Oliveira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2850-9437>

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil

E-mail: [marcelo.morais@ufersa.edu.br](mailto:marcelo.morais@ufersa.edu.br)

**Ricardo Paulo Fonseca Melo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7448-9273>

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil

E-mail: [ricardo.melo@ufersa.edu.br](mailto:ricardo.melo@ufersa.edu.br)

**Cláwsio Rogério Cruz de Sousa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2778-5202>

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil

E-mail: [clawsio.cruz@ufersa.edu.br](mailto:clawsio.cruz@ufersa.edu.br)

**Shirlene Kelly Santos Carmo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7198-9114>

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil

E-mail: [shirlene@ufersa.edu.br](mailto:shirlene@ufersa.edu.br)

## Resumo

Diante das atuais crises do petróleo, decorrentes da elevação nos preços dos barris, além da possibilidade de esgotamento em um futuro próximo desta matéria prima, há a urgência de uma política sustentável em relação às fontes de geração de energia. Nesse sentido, o bioetanol gerado a partir de resíduos agroindustriais e de frutas, surge como uma alternativa. A manga (*Mangifera indica*), na variedade Tommy Atkins, é a mais produzida e consumida no país. Esse consumo e processamento gera uma grande quantidade de resíduos orgânicos. A casca da manga é classificada como matéria-prima lignocelulósica, com quantidades interessantes de celulose e hemicelulose, fatores essenciais para a produção de bioetanol, combustível sustentável. Uma das maneiras de obter esse biocombustível é através da hidrólise ácida dessa matéria-prima que fornece açúcares fermentáveis. No entanto, existem fatores que influenciam o processo de hidrólise ácida, proporcionando ou não um melhor desempenho na formação desses açúcares. Assim, este trabalho objetivou analisar o potencial da farinha da casca da manga como matéria prima para a produção de bioetanol, realizando para tal, o processo de hidrólise ácida. Como forma de obter tal objetivo, foi avaliada a influência do tamanho das partículas e da agitação aplicada às partículas deste material. Observou-se a partir da análise, que a influência da agitação magnética favoreceu a um maior rendimento em relação à formação de açúcares, que são a base para a produção de bioetanol.

**Palavras-chave:** Bioetanol; Resíduos lignocelulósicos; Reutilização; Espectrofotometria; Etanol celulósico.

## Abstract

In view of the current oil crises, resulting from the increase in the prices of barrels, in addition to the possibility of depletion in the near future of this raw material, comes up need for a sustainable policy in relation to the sources of energy generation. In this sense, bioethanol generated from agro-industrial residues and fruits, appears as an alternative. Mango (*Mangifera indica*), in the Tommy Atkins variety, is the most produced and consumed in the country. This consumption and processing generates a large amount of organic waste. The mango peel is classified as a lignocellulosic raw material, with interesting amounts of cellulose and hemicellulose, essential factors for the production of bioethanol, a sustainable fuel. One of the ways to obtain this biofuel is through the acid hydrolysis of this raw material that provides fermentable sugars. However, there are factors that influence the acid hydrolysis process, providing or not a better performance in the formation of these sugars. Thus, this work aimed to analyze the potential of mango peel flour as a raw material for the production

of bioethanol, carrying out the process of acid hydrolysis. As a way to achieve this goal, the influence of the particle size and the agitation applied to the particles of this material was evaluated. It was observed from the analysis, that the influence of the magnetic stirring favored a higher yield in relation to the formation of sugars, which are the basis for the production of bioethanol.

**Keywords:** Bioethanol; Lignocellulosic waste; Reuse; Spectrophotometry; Cellulosic ethanol.

## Resumen

Ante las actuales crisis petroleras, derivadas del aumento de los precios de los barriles, además de la posibilidad de agotamiento en un futuro próximo de esta materia prima, existe una urgente necesidad de una política sostenible en relación a las fuentes de generación de energía. En este sentido, el bioetanol generado a partir de residuos agroindustriales y frutas, aparece como una alternativa. El mango (*Manguifera indica*), de la variedad Tommy Atkins, es el más producido y consumido en el país. Este consumo y procesamiento genera una gran cantidad de residuos orgánicos. La piel de mango está clasificada como materia prima lignocelulósica, con interesantes cantidades de lignina, celulosa y hemicelulosa, factores esenciales para la producción de bioetanol, un combustible sostenible. Una de las formas de obtener este biocombustible es mediante la hidrólisis ácida de esta materia prima que aporta azúcares fermentables. Sin embargo, existen factores que influyen en el proceso de hidrólisis ácida, proporcionando o no un mejor desempeño en la formación de estos azúcares. Así, esta investigación estuvo motivada por la importancia de presentar la harina de mango como un potencial para la producción de bioetanol, evaluando para ello el tamaño de partícula y la agitación aplicada a la etapa de hidrólisis ácida. A partir del análisis se observó que la agitación magnética favoreció un mayor rendimiento en relación a la formación de azúcares, que son la base para la producción de bioetanol.

**Palabras clave:** Bioetanol; Residuos lignocelulósicos; Reutilizar; Espectrofotometría; Etanol celulósico.

## 1. Introdução

O Bioetanol (etanol celulósico) tem se mostrado uma proposta promissora para o futuro no que diz respeito à geração e consumo de energia. Graças aos elevados preços do petróleo, as crises predominantes em diversos países e as preocupações sociais e ambientais, o Bioetanol vem se destacando no mercado como uma fonte de energia sustentável, com

estudos voltados principalmente para a produção desse a partir de materiais lignocelulósicos (Henriques, 2012). A matéria prima lignocelulósica é o recurso biológico renovável mais abundante da terra, sendo compreendido por resíduos agrícolas e resíduos florestais, como a cana de açúcar, e os resíduos provenientes da fruticultura (Santos et al., 2012).

Países como EUA e Brasil já fazem uso do bioetanol e tem alcançado bons resultados na utilização desse combustível, no entanto, com a necessidade de grandes quantidades de cana-de-açúcar, como é o caso do Brasil, surgem problemas referentes à quantidade de terras agricultáveis, solo, água, dentre outros recursos, reforçando assim a necessidade de buscar trabalhar com outra matéria prima (Quintero-Ramirez, 2014).

O Brasil é um grande produtor de frutas, chegando a ser o terceiro maior no ramo da fruticultura. Junto a essa grande produção, há uma grande quantidade de resíduos sólidos ricos em matéria prima lignocelulósica gerados no processo, que na maioria das vezes podem ser descartados de maneira inadequada trazendo prejuízos ao meio ambiente (Marincek, 2017).

A manga, fruta originária da Índia, foi trazida pelos portugueses ao Brasil e se adaptou ao clima tropical brasileiro, alavancando a produção no país. Segundo o Embrapa, em 2004, o Brasil se tornou o nono maior produtor de mangas e o segundo maior exportador do fruto com a região Nordeste em destaque. Segundo o IBGE, em 2017 essa região chegou a obter 812 mil toneladas da fruta. Essa produção e consumo de mangas no Brasil gera uma quantidade em torno de 40 a 60% de resíduos provenientes do processamento da fruta (Cordeiro, 2013).

Esses resíduos são compostos por uma estrutura constituída basicamente de lignina, celulose e hemicelulose, que podem dar origem a açúcares fermentescíveis e conseqüentemente, produzir o bioetanol.

A lignina é um composto polimérico que confere resistência à estrutura vegetal, sendo incorporado com o crescimento do fruto (Silva, 2014). É a porção mais complexa da biomassa lignocelulósica, principalmente porque apresenta diversas variações em sua composição em decorrência do clima da região e época do ano, por exemplo, não sendo possível formular sua estrutura química (Cardoso, 2017). Esse composto impede quase completamente a ação microbiana na estrutura vegetal (Silva, 2014).

A celulose, por sua vez, trata-se de um homopolissacarídeo formado por unidades de glicose. Apresenta regiões extremamente organizadas, estabilizadas por ligações de hidrogênio, e outras regiões amorfas com uma estrutura altamente ramificada, sendo essenciais para produção de açúcares e fabricação de etanol (Pereira et al, 2019).

Já a hemicelulose é um heteropolissacarídeo formado por xiloses, pentoses e ácidos

urônicos, é semelhante à celulose no quesito estrutural, mas acaba tendo uma suscetibilidade maior com relação a processos como a hidrólise ácida (Silva, 2014).

Os açúcares presentes nessa matéria prima precisam passar por um processo para que sejam transformados em açúcares fermentescíveis que posteriormente possam ser utilizados na fermentação e darem origem ao Bioetanol. Para isso, surgem diferentes rotas, uma delas é a hidrólise ácida. Esse processo consiste em utilizar um ácido diluído ou concentrado para quebrar a estrutura cristalina da matéria prima e transformar os açúcares maiores em açúcares menores, passíveis de fermentação (Silva, 2014).

A escolha por esse tipo de hidrólise se dá devido ao seu custo benefício e também por utilizar menos tempo no processo quando comparada a hidrólise enzimática, necessitando assim de 50% a menos de tempo (Oliveira et al, 2017). Além disso, a hidrólise ácida é um dos métodos mais promissores para aplicação industrial e produção em larga escala (Jönsson & Martín, 2016).

Esse processo pode utilizar ácidos concentrados ou soluções ácidas (ácidos diluídos). No entanto, ambos apresentam vantagens e desvantagens em sua utilização. Com o emprego de ácidos diluídos, processo utilizado no trabalho, faz-se necessário à aplicação de altas temperaturas. Dessa forma, tem-se um ambiente com temperatura alta e pH baixo que pode acarretar na decomposição dos açúcares (Barros, 2017).

Como ocorre essa degradação é difícil de prever, pois necessitaria da análise da concentração de açúcares fermentescíveis convertidos ao longo da hidrólise, sendo impraticável empiricamente quantificar esse parâmetro (Whitfield; Chinn; Veal, 2016). Porém, com a aplicação de ácidos concentrados, tem-se um perigo eminente de corrosão nos aparelhos utilizados e ainda se observa que os equipamentos para esse tipo de hidrólise devem ser especiais e com maior custo, dificultando sua implementação em larga escala (Megawati et al, 2015).

Ainda, na ocorrência de uma reação química, existem fatores que podem acelerar o processo ou retardá-lo, melhorando a eficiência e o custo benefício. Dentre esses fatores tem-se a superfície de contato. Quando os reagentes estão mais expostos há uma maior probabilidade de colisões em determinado tempo, aumentando a eficiência da reação (Atkins, 2008).

Dessa forma, o objetivo do trabalho direcionou-se ao estudo do aproveitamento do resíduo da casca da manga para produção de açúcares fermentescíveis através da técnica da hidrólise ácida, além disso, buscou-se entender o melhor desempenho da matéria avaliando parâmetros como a granulometria, baseado na NBR 7211:2005, da farinha da casca da manga

e a agitação magnética empregada durante a formação dos açúcares fermentescíveis.

## 2. Metodologia

O trabalho faz uso de uma pesquisa laboratorial, utilizando como base trabalhos como o de Silva (2014) e Cordeiro (2013) que forneceram parâmetros iniciais para traçar planejamentos e diretrizes de testes. Além disso, os conhecimentos adquiridos através da formação acadêmica pelos autores do trabalho foram de fundamental importância para os estudos laboratoriais aqui realizados. Ainda, de acordo com Pereira et al. (2018), a pesquisa é caracterizada como quali-quantitativa, fazendo uso da interpretação dos autores a cerca dos fenômenos observados nos testes, bem como do auxílio da matemática estatística que fornece suporte e justificativa plausível para a defesa dos resultados.

### 2.1 Obtenção e tratamento inicial da matéria prima

A matéria prima foi obtida através de doações de agricultores da região do Alto Oeste Potiguar, interior do Rio Grande do Norte (RN), sendo encaminhadas até as instalações do laboratório da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) – *Campus Pau dos Ferros*, para que as demais etapas fossem prosseguidas. A partir disso, a manga passou por um processo de despulpagem, para obtenção da casca do fruto, objeto de estudo nesta pesquisa.

**Figura 1** - Casca da manga *in natura*.



Fonte: Autores.

Assim, a Figura 1 mostra a casca da manga distribuída em uma placa de alumínio forrada com papel vegetal. Esse material foi levado à estufa a 105 °C por aproximadamente 3 horas, até obtenção de massa constante.

**Figura 2** - Casca da manga após secagem em estufa.



Fonte: Autores.

Como visto na Figura 2, a casca da manga encontra-se seca, livre de umidade depois do processo de secagem em estufa.

O material seco foi levado a um liquidificador doméstico, o qual possibilitou a trituração e obtenção da farinha da casca da manga (FCM) utilizada nas demais etapas do processo.

## 2.2 Ensaio granulométrico

O estudo granulométrico foi realizado com base na NBR 7211:2005. A FCM foi submetida a um conjunto de cinco peneiras com diferentes aberturas de malha: 2,36 mm; 1,18 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm, restando ao final a peneira de fundo, tendo essa, granulometria inferior a 0,15 mm. O material retido em cada peneira foi separado em beakers, etiquetados e cobertos com plástico filme para evitar o ganho de umidade. O ensaio foi realizado em duplicata para garantir uma melhor qualidade dos resultados.

**Figura 3** - Peneiras utilizadas no ensaio granulométrico.



Fonte: Autores.

A Figura 3 mostra as peneiras utilizadas no processo de separação da farinha da casca da manga através das suas diferentes granulometrias.

### 2.3 Hidrólise ácida

O tratamento de hidrólise ácida aplicada sobre a FCM em diferentes granulometrias contou com a utilização de parâmetros e condições obtidas a partir de testes anteriormente realizados, onde tais condições foram mais satisfatórias no que diz respeito à obtenção dos açúcares fermentescíveis. Para isso, foi montado um planejamento fatorial levando em consideração quatro fatores principais: tipo de ácido, concentração do ácido, temperatura e tempo do processo, conforme mostra a Tabela 1. Com o intuito de avaliar a influência na granulometria sobre o processo, foram mantidas fixas as demais variáveis e variou-se apenas a granulometria, de forma a entender qual o tamanho de partícula era mais eficiente na conversão dos açúcares.

**Tabela 1** – Planejamento fatorial.

<b>Tipo de ácido</b>	HCl					
<b>Concentração do ácido</b>	0,10% v/v					
<b>Tempo</b>	90 minutos					
<b>Temperatura</b>	80 °C					
<b>Granulometria</b>	2,36 mm	1,18 mm	0,6 mm	0,3 mm	0,15 mm	<0,15 mm

Fonte: Autores.

Assim, a Tabela 1 apresenta os parâmetros de testes a serem utilizados na etapa de hidrólise ácida. Em seguida, iniciou-se o processo de hidrólise com a utilização da proporção de 1 g de matéria prima para 15 mL de solução de ácido clorídrico (HCl) 0,10% v/v, visto que, dentre os testes anteriores realizados, essa proporção apresentou melhores resultados.

Essas duas porções foram depositadas em um Erlenmeyer de 50 mL tampado com um pedaço de algodão e levados ao banho-maria a 80 °C por 90 minutos sem agitação. Depois desse processo, com o auxílio de papel de filtro de 80 g/m<sup>2</sup>, o licor foi filtrado e armazenado em frascos para que as análises espectrofotométricas fossem realizadas.

Ainda, para a comparação com os resultados da hidrólise ácida foi realizado um “teste branco” que se trata de uma amostra de licor realizada segundo os parâmetros explícitos na Tabela 2, com a FCM e água em substituição ao HCl, mostrando, assim, a quantidade de açúcares iniciais na matéria-prima.

**Tabela 2** – Parâmetros para o teste de comparação.

Teste branco	Solução	Temperatura	Tempo	Granulometria
	Água	25 °C	10 min	Variada

Fonte: Autores.

Os parâmetros presentes na Tabela 2, foram utilizados para determinação da quantidade de açúcares iniciais da matéria-prima, ou seja, o valor de açúcares do teste branco.

Assim, para o teste branco misturou-se 1 g da farinha da casca da manga com 15 mL de água destilada que foram depositados em um Erlenmeyer de 50 mL. O Erlenmeyer permaneceu em agitação manual constante por 10 minutos. Depois o seu conteúdo foi filtrado por meio da utilização de um papel filtro e armazenado para posterior leitura.

#### 2.4 Hidrólise ácida com agitação magnética

Os parâmetros utilizados no processo de “hidrólise ácida” foram os mesmos para a hidrólise ácida com agitação magnética. Dessa forma, utilizou-se a mesma solução de ácido clorídrico 0,10% v/v, o tempo de 90 minutos e uma temperatura de 80 °C.

No entanto, esse novo banho-maria foi realizado em um becker de 500 mL sobre uma chapa aquecedora com agitação magnética, como mostra a Figura 4, garantindo assim, uma agitação constante em todo o tempo de processo, fazendo com que o conjunto matéria-prima e ácido ficassem em constante rotação aumentando a superfície de contato. Os demais procedimentos seguiram semelhantemente, partindo então para a filtração, e posterior análise de açúcares redutores totais (ART).

**Figura 4** - Hidrólise ácida realizada sobre a chapa aquecedora com agitação magnética.



Fonte: Autores.

O aparato experimental, conforme apresentado na Figura 4, realiza o processo de hidrólise ácida com o uso da agitação magnética.

## **2.5 Determinação do ART**

Para tal análise foi utilizado o método DNS (ácido 3,5-dinitrosalicílico) com metodologia descrita por Miller (1959). As amostras (licores) obtidas pelo processo de hidrólise ácida e da hidrólise ácida com agitação magnética foram armazenadas em frascos e levadas para análise de absorvância (Abs) em um espectrofotômetro com comprimento de onda de 540 nm.

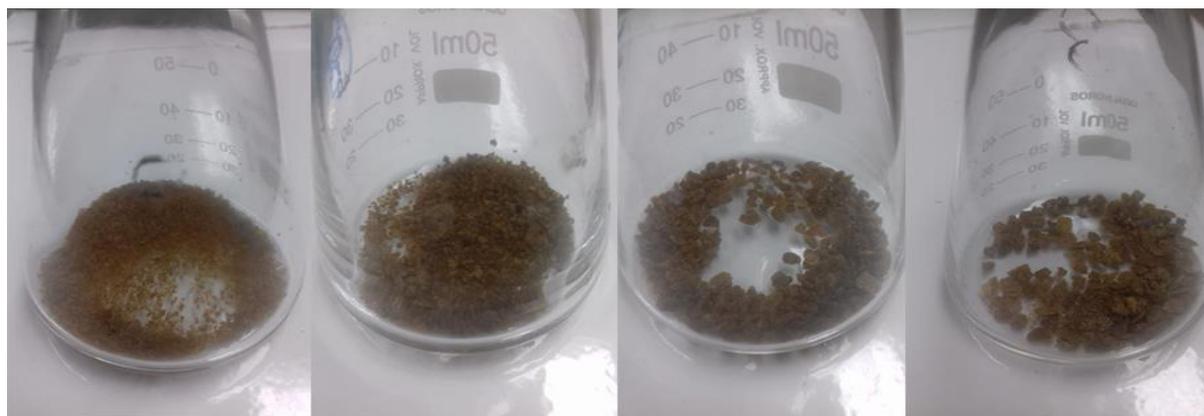
Antes da análise do ART, se fez necessário o preparo da amostra, onde constou da adição de uma quantidade de 10 mL de água destilada aos licores obtidos pela hidrólise ácida, isso se deve ao fato da FCM produzir um licor muito expeço, o que provocaria uma leitura incorreta pelo espectrofotômetro. Neste caso, a quantidade de 10 mL de água foi definida a partir da experiência com o equipamento e a matéria-prima. O fator de diluição (FD), contidos implicitamente nas Tabelas 4 e 5 é composto pela soma de 1 mL do licor e 10 mL de água destilada, totalizando 11 mL. Esse será o fator de correção ao valor lido da absorvância em cada licor.

Com os resultados obtidos do equipamento é possível utilizar a regressão linear de uma curva de glicose preparada por metodologia semelhante à aplicada na análise do licor. Os coeficientes da reta de regressão fornecem a fórmula que explicita a quantidade de gramas de açúcares por litro de licor.

## **3. Resultados e Discussão**

Com os dados obtidos por meio do procedimento para determinação das granulometrias da FCM, foi elaborada uma tabela de distribuição de tamanho das partículas segundo a NBR 7211:2005, a qual apresenta e quantifica a parcela de matéria-prima retida em cada uma das peneiras, Figura 5.

**Figura 5** - Partículas da FCM separadas por granulometrias.



Fonte: Autores.

A Figura 5 apresenta beakers com porções da farinha da casca da manga com diferentes granulometrias, sendo o resultado do ensaio granulométrico realizado. Além disso, a Tabela 3 fornece dados quanto as porcentagens de massa retida, acumulada e passante, permitindo uma melhor caracterização da matéria-prima.

**Tabela 3** – Ensaio granulométrico da casca da manga.

Peneiras		Massa Retida (g)	Massa Passante (g)	%Retida	%Retida Acumulada	% Passante
Nº	mm					
8	2,36	0,818	99,182	0,819	0,82	99,297
16	1,18	12,635	86,548	12,649	13,468	86,648
30	0,6	35,559	50,989	35,600	49,068	51,047
50	0,3	20,433	30,556	20,457	69,525	30,591
100	0,15	18,939	11,617	18,960	88,485	11,630
Fundo	<0,15	11,502	0,253	11,515	100,000	0,253
<b>TOTAL</b>		99,885		100,000		

Fonte: Autores.

A Tabela 3 apresenta os valores referentes ao ensaio granulométrico realizado.

Observou-se que a FCM apresentou uma maior quantidade de partículas em um tamanho de 0,6 mm (35,559%), como pode ser visto nos dados presentes na Tabela 3. Os licores obtidos, Figura 6, pelo processo de hidrólise ácida sem agitação magnética e da hidrólise ácida com agitação magnética, foram lidos em espectrofotômetro e tiveram seus valores expressos nas Tabelas 4 e 5.

**Figura 6 - Licores obtidos após filtração.**



Fonte: Autores.

A Figura 6 apresenta os frascos contendo os licores obtidos na etapa de hidrólise ácida e hidrólise com agitação magnética.

### 3.1 Influência da granulometria na hidrólise ácida

Em posse das partículas separadas em suas diferentes granulometrias, realizou-se, conforme a metodologia, o planejamento fatorial aplicado à hidrólise ácida sem agitação durante o processo. Na Tabela 4 apresentam-se os resultados obtidos com relação à quantidade de açúcares após a hidrólise ácida em função das diferentes granulometrias, bem como o teste branco, que apresenta a quantidade de açúcares na farinha da casca da manga *in natura*, ambos expressos como média das concentrações  $\pm$  desvio padrão. As letras ‘a’ e ‘b’ inclusas na vertical, indicam diferença estatística pelo teste Tukey ao nível de 95% de confiança.

**Tabela 4 – Hidrólise ácida sem agitação magnética.**

Peneiras	Ácido	Conc. do ácido	Temp.	Tempo	Conc. de açúcares (g/l)
Mistura	Água	0,00%	25 °C	10 min	23,974 $\pm$ 1,436
2,36	HCl	0,10%	80 °C	90 min	26,334 <sup>a</sup> $\pm$ 0,153
1,18	HCl	0,10%	80 °C	90 min	26,143 <sup>a</sup> $\pm$ 0,800
0,6	HCl	0,10%	80 °C	90 min	26,293 <sup>a</sup> $\pm$ 0,071
0,3	HCl	0,10%	80 °C	90 min	26,234 <sup>a</sup> $\pm$ 0,153
0,15	HCl	0,10%	80 °C	90 min	25,951 <sup>a</sup> $\pm$ 0,482
<0,15	HCl	0,10%	80 °C	90 min	26,026 <sup>a</sup> $\pm$ 0,400

Fonte: Autores.

A Tabela 4 evidencia os resultados referentes a etapa de hidrólise ácida sem agitação magnética. Diante dos resultados expostos, com base na análise do desvio padrão e aplicação

do Teste Tukey, foi possível verificar que não houveram mudanças significativas, não possuindo assim uma diferença significativa entre os dados ( $p > 0,05$ ). Como o p-valor é maior que 5% não temos evidência que nossos dados têm homogeneidade de variância.

A hipótese levantada para justificar esse resultado é de que quando a casca da manga é processada ela gera um pó que fica retido no fundo das peneiras ( $< 0,15$  mm). Esse pó, por sua vez, fica aderido também às partículas maiores, sendo impossível a sua separação sem adição de umidade. Dessa maneira, acredita-se que no processo de hidrólise ácida está ocorrendo a transformação de açúcares apenas das partículas aderida as maiores granulometrias.

### 3.2 Influência da agitação magnética na hidrólise ácida

Com o objetivo de analisar se esse processo realmente estava acontecendo, foi realizado dois testes com os mesmos parâmetros dos primeiros e com a granulometria de 0,6 mm, porém, com um diferencial - em um dos testes foi utilizada a agitação magnética (AG) e no outro não, conforme visto na Tabela 5, com os resultados expressos como média  $\pm$  desvio padrão.

**Tabela 5** – Hidrólise ácida com agitação magnética.

Peneiras	Ácido	Conc. do ácido	Temp.	Tempo	Conc. de açúcares (g/l)
0,6 AG	HCl	0,10%	80 °C	90 min	30,386 <sup>a</sup> $\pm$ 0,165
0,6	HCl	0,10%	80 °C	90 min	28,847 <sup>b</sup> $\pm$ 0,435

Fonte: Autores.

A Tabela 5 evidencia os resultados da hidrólise ácida com agitação magnética.

Analisando os resultados tomando como base a realização do Teste Tukey, é perceptível que há uma diferença significativa entre os testes realizados. Assim, pode-se perceber que existe uma diferença de aproximadamente 5,06% na quantidade de açúcares no teste com agitação magnética em relação ao que não teve a agitação. Em um primeiro momento, pode-se parecer que foi uma diferença pouca, porém, fala-se aqui de uma proporção baixa de matéria prima lignocelulósica para ácido.

Quando isso é analisado em uma escala maior, é possível ver que a diferença se apresentou de forma significativa. Além disso, é possível que com a agitação, a hidrólise ácida tenha conseguido converter não apenas os açúcares presentes no pó aderido à partícula maior, mas também essa partícula maior, fornecendo encaminhamentos para novas pesquisas.

Além disso, analisando o melhor resultado com base a quantidade inicial de açúcares (teste branco) presentes na matéria prima apresentado na Tabela 4, obtém-se um aumento de

açúcares de 21,10% com relação a essa.

#### **4. Considerações Finais**

Com base nos resultados obtidos, é possível destacar que a farinha da casca da manga possui propriedades e potencial para obtenção de açúcares fermentescíveis o que indica uma matéria susceptível a produção de bioetanol.

Além disso, analisando os fatores expostos que influenciam na hidrólise ácida da matéria prima, percebe-se que em um primeiro momento a granulometria não possui uma influência significativa na reação para esta matéria-prima em específico, como discutido anteriormente, em função da aderência das partículas menores às maiores.

Em contrapartida, observa-se que a hidrólise ácida com auxílio da agitação magnética apresentou um melhor rendimento na formação dos açúcares fermentescíveis, aumentando em aproximadamente 5,1% essa conversão.

Dessa forma, os resultados apontam encaminhamentos para pesquisas futuras, analisando a fundo esses parâmetros e entendendo melhor sua influência na obtenção de açúcares fermentescíveis.

#### **Referências**

Associação Brasileira de Normas Técnicas [NBR 7211]. (2005). Agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro, RJ: ABNT

Atkins, P. W. (2008). Físico-Química. São Paulo: Editora LTC.

Barros, L. P. R. C. (2017). Obtenção de nanocelulose por hidrólise ácida e enzimática de fibras de algodão de resíduo de tecido tingido com corante índigo. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil.

Cardoso, A. L. de C. (2017). Produção de celulasas pelo FSDE 16 e hidrólise enzimática do bagaço da cana-de-açúcar. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, Brasil.

Cordeiro, E. M. S. (2013). Biocompósitos poliméricos obtidos a partir da fração lignocelulósica e amilácea do caroço de manga (*Mangifera indica*), Tommy Arkins. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil.

Henriques, H. J. C. (2012). Viabilidade do uso de bioetanol como combustível alternativo. Dissertação de mestrado, Universidade de Aveiro, Portugal.

Jönsson, L. J., & Martín, C. (2016). Pretreatment of lignocellulose: Formation of inhibitory by-products and strategies for minimizing their effects. *Bioresour Technol* (199), 103-112.

Marincek, A. M. (2017). Produção de filmes de triacetato de celulose a partir da celulose extraída de fonte lignocelulósica alternativa. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.

Megawati, W. B. S., Sulisty, H., & Hidayat, M. (2015). Sulfuric acid hydrolysis of various lignocellulosic materials and its mixture in ethanol production. *Biofuels* (6), 331-340.

Oliveira, D. S., Furstenberger, C. B., Boava, M. S., Turcatel, G. J. A., Maia, G. A. R., & Rodrigues, P. R. P. (2017). Estudo da hidrólise ácida da *Cyperus esculentus* para produção de etanol. *Revista Virtual de Química*, 9, 2427-2441.

Pereira, A. S., et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Recuperado de [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1).

Pereira, N. R. L., Anjos, F. E., & Magnago, R. F. (2019). Resíduos lignocelulósicos da bananicultura: uma revisão sobre os processos químicos de extração da celulose. *Revista Virtual de Química*, 11 (4), 1165-1179.

Quintero-Ramirez, R. (2014). Hydrolysis of lignocellulosic biomass (Cap. 13, p. 717-732). São Paulo: Editora Edgard Blücher.

Santos, F. A., Queiróz, J. H. de, Colodette, J. L., Fernandes, S. A., Guimarães, V. M., & Rezende, S. T. (2012). Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. *Química Nova*, 35, 1004-1010.

Silva, R. de A. (2014). Efeito do pré-tratamento ácido e básico na hidrólise enzimática do bagaço de acerola. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil.

Whitfield, M. B., Chinn, M. S., & Veal, M. W. (2016). Improvement of acid hydrolysis procedures for the composition analysis of herbaceous biomass. *Energy&fuels*.

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Breno Eduardo Carlos – 65%

Karina Estrela Egídio – 5%

Marcelo Nascimento de Moraes Oliveira – 2,5%

Ricardo Paulo Fonseca Melo – 2,5%

Cláwsio Rogério Cruz de Sousa – 5%

Shirlene Kelly Santos Carmo – 20%