

**Estudo granulométrico do resíduo da palha de feijão para efeito benéfico no processo de
obtenção do bioetanol**

**Granulometric study of bean straw residue for beneficial effect in the process of
obtaining bioethanol**

**Estudio granulométrico de residuos de paja de frijol para efecto beneficioso en el
proceso de obtención de bioetanol**

Recebido: 26/08/2020 | Revisado: 02/09/2020 | Aceito: 07/09/2020 | Publicado: 08/09/2020

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

Breno Eduardo Carlos

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

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil

E-mail: breno.eduardo1999@hotmail.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

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

Cláwsio Rogério Cruz de Sousa

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

Universidade Federal Rural do Semi-arido, Brasil

E-mail: 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

Resumo

O feijão é um alimento presente em todo o mundo e, principalmente, na região Nordeste pela sua culinária diversificada. Como é uma matéria-prima já cultivada na região Potiguar e por uma agricultura, predominantemente, familiar, os resíduos formados por suas palhas, muitas vezes, possuem um descarte correto ou apropriado. Desse modo, a presente pesquisa analisa a palha do feijão como fonte para geração do bioetanol, um tipo de biocombustível mais limpo, menos tóxico e renovável, comparado aqueles derivados dos combustíveis fósseis, além de propor uma utilização para essa biomassa lignocelulósica com menor agressão ao meio ambiente. Nesse contexto, o trabalho objetiva empregar o ensaio granulométrico afim de encontrar uma melhor superfície de contato entre as partículas dessa biomassa que proporcione aumento no percentual de produção em açúcares fermentescíveis, bem como aplicar a técnica da hidrólise ácida como instrumento essencial para a produção do bioetanol. A metodologia seguida se baseou em revisão da literatura e realização de testes experimentais. O emprego do procedimento granulométrico e hidrólise ácida contribuíram para um aumento no teor de açúcar na amostra da palha do feijão, constado em torno de 400 % quando comparada a sua amostra inicial (amostra branca), havendo, pois, um grande potencial para produção alcóolica, tornando-se uma fonte promissora de energia.

Palavra-chave: Granulometria; Hidrólise ácida; Superfície de contato; NBR NM 248:2001.

Abstract

Beans are a food present all over the world and, mainly, in the Northeast region for its diversified cuisine. As it is a raw material already cultivated in the Potiguar region and for a predominantly familiar agriculture, the residues formed by its straws, often have a correct or appropriate disposal. Thus, the present research analyzes the bean straw as a source for the generation of bioethanol, a cleaner, less toxic and renewable type of biofuel, compared to those derived from fossil fuels, in addition to proposing a use for this lignocellulosic biomass with less aggression to the environment. In this context, the work aims to employ the granulometric test in order to find a better contact surface between the particles of this biomass that provides an increase in the percentage of production in fermentable sugars, as well as to apply the acid hydrolysis technique as an essential tool for the production of bioethanol. The methodology followed was based on literature review and experimental tests. The use of the granulometric procedure and acid hydrolysis contributed to an increase in the sugar content in the bean straw sample, which was around 400% when compared to its initial

sample (white sample), thus having great potential for alcohol production, becoming a promising source of energy.

Keywords: Granulometry; Acid hydrolysis; Contact surface; NBR NM 248: 2001

Resumen

Los frijoles son un alimento presente en todo el mundo y, principalmente, en la región Nordeste por su variada gastronomía. Al ser una materia prima ya cultivada en la región Potiguar y para una agricultura predominantemente familiar, los residuos formados por sus pajitas suelen tener una correcta o adecuada disposición. Así, la presente investigación analiza la paja de frijol como fuente para la generación de bioetanol, un tipo de biocombustible más limpio, menos tóxico y renovable, frente a los derivados de los combustibles fósiles, además de proponer un uso de esta biomasa lignocelulósica con menor agresión al medio ambiente. En este contexto, el trabajo tiene como objetivo emplear la prueba granulométrica con el fin de encontrar una mejor superficie de contacto entre las partículas de esta biomasa que proporcione un aumento en el porcentaje de producción en azúcares fermentables, así como aplicar la técnica de hidrólisis ácida como herramienta fundamental para la producción de bioetanol. La metodología seguida se basó en revisión de literatura y pruebas experimentales. El uso del procedimiento granulométrico y la hidrólisis ácida contribuyó a un aumento del contenido de azúcar en la muestra de paja de frijol, que fue de alrededor del 400% en comparación con su muestra inicial (muestra blanca), por lo que tiene un gran potencial para la producción de alcohol, convirtiéndose en una prometedora fuente de energía.

Palabras clave: Granulometría; Hidrólisis ácida; Superficie de contacto; NBR NM 248: 2001.

1. Introdução

A evolução da sociedade como um todo descreve uma trajetória de perda dos recursos naturais de forma crescente e acelerada (Pompelli et al., 2011). A Revolução Industrial marca o início do consumo em massa desses, principalmente da matriz energética atual formada pelos derivados de combustíveis fósseis: o petróleo, carvão e gás natural (Mota et al., 2011).

Todavía, com o passar do tempo os impactos negativos causados pelos combustíveis fósseis ao ambiente foram sendo cada vez mais visíveis e devastadores, além do seu alto custo financeiro e a possibilidade de sua escassez, tornando-se obrigatório a reutilização do álcool

em amostras de gasolina na tentativa de minimizar seus efeitos nocivos (Lopes et al., 2016).

Diante disso, surge o efeito estufa, um fenômeno natural que consiste em uma concentração de gases como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e outros para formação de uma camada protetora sobre a Terra, permitindo a passagem de raios solares, afim de manter a temperatura estável, tornando-se altamente importante, desde que de maneira controlada (Mota & Almeida, 2009). A alta concentração desses gases emitidos causa um aumento na emissão de raios solares provocando o aquecimento global, derretimento das geleiras, extinção de espécies, drásticas mudanças climáticas, enchentes e outros fenômenos indesejáveis.

Por esse motivo, cientistas e pesquisadores buscam formas de mitigar esses efeitos danosos, buscando fontes alternativas de energia como aquela originada de biocombustíveis, pois são substâncias produzidas a partir da matéria orgânica e sua aplicação se dá, prioritariamente, por ser uma fonte renovável, menos degradáveis e não tóxicos, contribuindo para um equilíbrio ambiental (Brasil, 2007).

O etanol celulósico (bioetanol) é um exemplo de biocombustível alternativo originado da matéria-prima provinda de resíduos lignocelulósicos (palhas, grãos e madeira), os quais para Chammén et al. (2013) possuem uma alta rentabilidade e são gerados em grande quantidade no país.

Apesar de Pompelli et al. (2011) afirmar que é preciso cautela quanto ao uso do bioetanol, pois seus impactos ao ambiente podem também ser negativos, destruindo grandes áreas florestais, degradação do solo e utilização de grandes quantidades de água; ele ainda afirma que para superar esses efeitos contrários é necessário analisar o que se tem em cada região do país e trabalhar com as devidas matérias-primas, atenuando assim, o efeito ambiental negativo associado.

O feijão é um alimento riquíssimo na cozinha brasileira, o Brasil consegue produzir até três safras anuais, tornando-o o terceiro maior produtor mundial (Conab, 2019). Em um panorama nacional, segundo dados do Embrapa e do Conab, a região em que mais se concentra essa produção é a Sudeste, com o estado do Paraná em destaque, produzindo anualmente cerca de 650 mil toneladas (Coêlho, 2019).

Em decorrência de sua alta produção, o feijão gera uma grande quantidade de resíduos formada por suas palhas. A estrutura lignocelulósica da palha do feijão é constituída por celulose, hemicelulose e lignina (Campioni et al., 2016).

A celulose é uma estrutura fibrosa composta por cadeias de açúcares, formada de uma parte cristalina, a qual precisa ser quebrada para a fermentação, tornando-a mais resistente ao

processo de liberação de açúcares e outra amorfa, representando a parte em maior quantidade nos vegetais e se apresentando como essencial para a produção de açúcares já que não possui uma forma definida e a tornando mais flexível (Morais et al., 2010).

A hemicelulose apresenta composição de álcoois aromáticos, mas não possui parte cristalina e, por isso, totalmente apta para a fermentação. Já a lignina é uma macromolécula totalmente amorfa e ramificada, mas atua como um barramento para a celulose e hemicelulose (Kumar et al., 2009).

Para se obter etanol a partir de materiais lignocelulósicos é necessário que os mesmos sejam submetidos a tratamentos físicos, químicos e/ou biológicos para a produção de açúcares fermentescíveis e, a partir desses, originar o álcool (Morais & Broetto, 2012). O processo em geral se inicia com uma etapa de pré-tratamento físico e transfere para uma outra etapa chamada hidrólise.

A hidrólise consiste na quebra da molécula de uma substância com a utilização de um reagente permitindo a formação dos açúcares. Esse reagente pode ser um ácido, uma base ou ainda uma enzima (Carvalho, 2016).

No panorama de produção da região Potiguar, o feijão plantado é do tipo Caupi e, predominantemente, por meio de uma agricultura familiar e carente de maquinários que elevem a produtividade. Desse modo, a produção da referida localidade não se apresenta como um polo quando comparada com a região Sudeste (Coêlho, 2019).

Dessa forma, a palha de feijão, muitas vezes, não possui uma aplicabilidade apropriada. São utilizadas como forma de alimentação animal em períodos de seca, uma vez que são ricas em proteínas e a temporada de seca implica uma baixa produtividade das terras, impedindo o crescimento do pasto e vegetação que serviria de alimento para esses (Rabelo, 2018).

Além disso, Oliveira et al. (2017) estudam o uso da palha de feijão como filtros no tratamento de água para alimentação animal, retirando as impurezas da água, além de produzir uma substância fértil para o solo.

Diante disso, partindo do pressuposto de que o feijão é um alimento abundante em todo o país, é notório sua relevância para o trabalho, uma vez que as palhas, na maior parte, não possuem utilização correta ou descarte apropriado. Nesse sentido, a presente pesquisa se dedica a diminuição desse desperdício, descarte e poluição ao meio ambiente, produzindo um álcool com matéria-prima local evitando a destruição de florestas e degradação do solo.

Em retomada aos fatos citados, o presente trabalho tem por objetivo apresentar uma metodologia que visa a melhoria na obtenção de açúcares fermentescíveis a partir da palha do

feijão, contribuindo para uma produção de bioetanol mais efetiva, e para isso, realiza testes envolvendo o estudo granulométrico da partícula, analisando as modificações causadas por essas, buscando qual o seu melhor diâmetro para esse propósito, e aplica a técnica da hidrólise ácida, com a finalidade de estabelecer parâmetros para esta análise.

Por fim, o estudo busca uma utilização para a palha de feijão de forma eficaz, prática, com menores gastos e impactos negativos ao meio ambiente, promovendo uma fonte promissora de energia ao mundo.

2. Metodologia

Inicialmente, caracterizando a pesquisa quanto a sua tipologia e ressaltando que consiste em um projeto envolvendo revisão bibliográfica, metodologia prévia e testes realizados, ela possui a área da ciência teórica, metodológica e empírica de natureza aplicada. Possuem objetivos exploratórios, descritivos e explicativos, sendo com procedimentos bibliográficos e experimentais; o objeto de estudo, além de bibliográfico, é laboratorial, utilizando como principais referências Calixto (2016) e os dados do Conab (2019) com forma de abordagem em uma pesquisa qualitativa e quantitativa, uma vez que utiliza experiências e análises de outros autores sobre o referido tema, bem como funções matemáticas para a resolução de problemas.

2.1 Pré-tratamento físico

A palha de feijão, objeto de estudo nessa pesquisa, foi obtida pela doação de pequenos agricultores da região do Rio Grande do Norte (RN). O material foi destinado para o pré-tratamento físico, o qual consistiu no tratamento e transformação da palha em pó sem a adição de substâncias químicas.

Neste processo, as palhas foram deixadas a céu aberto para a secagem inicial e, posteriormente, levados a uma estufa de circulação forçada de ar com temperatura a 105 °C para retirada da umidade restante. O material seco foi triturado em liquidificador doméstico, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1. Trituração da palha seca do feijão.



Fonte: Autores.

Na Figura 1 é observado a palha do feijão, livre de umidade, em um liquidificador doméstico, como forma de obter após esse processamento, um pó fino e homogêneo.

2.2 Ensaio granulométrico

O ensaio granulométrico é uma forma de analisar e separar as partículas de acordo com seus diferentes tamanhos de diâmetros, utilizando para isto um conjunto de peneiras, cada uma com uma abertura de malha diversa, regida pela NBR NM 248:2001, a qual dispõe de todas as maneiras corretas de usá-las, desde a limpeza do resíduo, agitação da partícula de forma manual, porcentagem de material retido em cada compartimento e cálculo da massa ao final do experimento (NBR NM 288, 2011).

De acordo com estudos sobre o referido procedimento, uma menor granulometria da partícula permite um aumento da superfície de contato entre a biomassa e, conseqüentemente, uma maior colisão dessas partículas (Ávila, et al., 2007). Como consequência disso, resulta em um aumento da taxa no processo de hidrólise, diminuição do tempo de reação, aumento da cinética das reações e maiores resultados nas etapas posteriores (Viriatro, 2015).

A cinética química consiste na velocidade das reações e para que se torne mais rápida, alguns fatores são essenciais, neste caso, a superfície de contato obtida com o método da granulometria, buscando observar qual diâmetro da partícula alcança maiores rendimentos à formação dos açúcares após a hidrólise.

Para tanto, concretizou-se o ensaio granulométrico com uma amostra de 100 g da palha seca já triturada e analisado quanto de massa ficou retida em cada peneira. Esse

procedimento contou com 5 peneiras de aberturas ou diâmetros diferentes, visualizada na Figura 2. Na Figura 3 demonstra, em cada Becker, a quantidade de material retirado e pesado em cada uma das peneiras, inclusive no último recipiente (Fundo).

Figura 2. Peneiras para o ensaio granulométrico.



Fonte: Autores.

Na Figura 2 é observado o conjunto de peneiras disponível no laboratório, utilizando-o para a realização do ensaio granulométrico com o então pó da palha e separado de acordo com o tamanho da partícula.

Figura 3. Granulometria do resíduo obtido em cada peneira.



Fonte: Autores.

Como visualizado, a Figura 3 demonstra 6 Becker, os 5 primeiros separam o material

retido nas peneiras, de acordo com a abertura de malhas, na forma decrescente, enquanto que o último Becker, aquele que contém um pó mais fino e em menor quantidade, representa o material retido no fundo da peneira, ou seja, peneira 6.

2.3 Hidrólise ácida

Como já introduzido, os materiais lignocelulósicos são formados, basicamente, por celulose, lignina e hemicelulose, onde a celulose possui uma parte cristalina que precisa ser transformada em amorfa e facilitar o processo de fermentação alcoólica (Kumar, 2009).

Nesse contexto, a hidrólise permite a transformação da celulose em glicose, ou seja, os açúcares apropriados para a fermentação e posterior obtenção do bioetanol. Esse processo pode ser catalisado pela adição de um ácido, base ou enzima. No entanto, ácido de forma diluída se sobressai quando comparado aos outros tipos pela sua produção em larga escala, menores gastos financeiros, maior praticidade e menor corrosão de equipamentos metálicos (Morais & Broetto, 2012).

A massa contida em cada um dos 6 recipientes referentes a separação das partículas da palha de feijão foi destinada ao processo de hidrólise, realizada em condições mais brandas, utilizando para isso o banho-maria termostático na temperatura de 100 °C. Para cada teste, em cada erlenmeyer foi adicionado 1 g da massa do material em estudo, misturada com ácido clorídrico (HCl), em concentração de 5 %, por um tempo reacional de 60 min.

Os valores de cada parâmetro, como o ácido clorídrico, temperatura, concentração e tempo foram escolhidos através de revisão bibliográfica de quais intervalos surtiam melhores efeitos, bem como através de uma série de testes realizados antes, afim de identificar o melhor resultado. Segundo Morais e Broetto (2012), o intervalo de 60 min é um dos ideais para verificar resultados satisfatórios na hidrólise e preparar a biomassa para um ensaio mais severo. Em consonância a isso, Sá e Bianchi (2015) confirmam o ácido clorídrico como um dos importantes na hidrólise ácida, bem como o intervalo escolhido de concentração e temperatura.

Os parâmetros se mantiveram fixos se contrapondo a granulometria da partícula, visto que, o objeto de estudo nessa pesquisa foi a influência da granulometria sobre a produção dos açúcares.

Após saírem do banho-maria, os licores formados, Figura 4, são destinados à leitura da absorbância em Açúcares Redutores Totais (ART), Figura 5, os quais foram lidos pelo espectrofotômetro UV-Vis, em um comprimento de onda de 540 nm, onde a absorbância

(Abs) foi obtida e em seguida calculada a concentração de açúcares em g L^{-1} com base em uma curva de glicose anteriormente traçada. Os resultados e parâmetros encontram-se na Tabela 2, possibilitando assim, uma análise sobre o experimento.

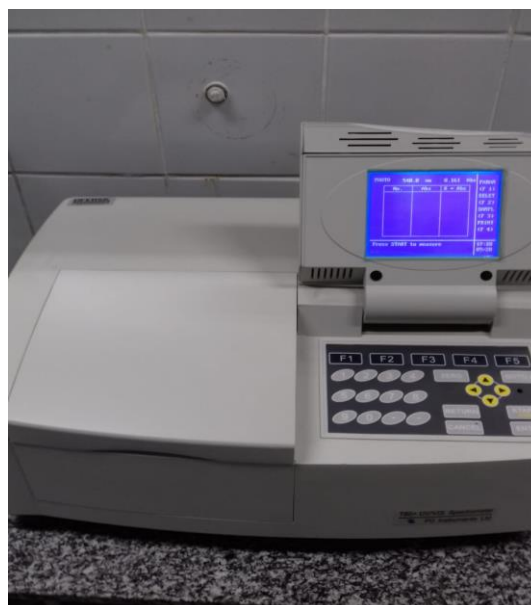
Figura 4. Licores dos resíduos após hidrólise.



Fonte: Autores.

A Figura 4 representa o pó da palha de feijão após hidrólise, ou seja, após ser misturada com ácido e destinada ao banho-maria para o aquecimento. Os licores formados em cada erlenmeyer são de granulometrias diferentes e serão filtrados para uma análise no espectrofotômetro.

Figura 5. Análise espectrofotométrica do ART.



Fonte: Autores.

A Figura 5 representa o equipamento espectrofotômetro, o qual permite uma leitura, através da quantidade de luz absorvida pela substância, da absorbância de cada licor observado na Figura 4 e posteriormente convertida em açúcar.

3. Resultados e Discussão

Diante das estratégias realizadas no procedimento experimental, a Tabela 1 apresenta os principais resultados referentes ao ensaio granulométrico, especificando a massa retida em cada peneira e a do Fundo.

Tabela 1. Especificação das peneiras de acordo com o diâmetro e massa retida em cada recipiente.

Peneira	Nº	Diâmetro (mm)	Massa retida (g)
1	8	2,36	10,201
2	16	1,18	40,327
3	30	0,60	35,223
4	50	0,30	8,189
5	100	0,15	5,317
Fundo (6)	<0,150	-	2,369

Fonte: Autores.

A Tabela 1 demonstra de forma clara a nomeação das peneiras por números, o diâmetro da abertura da malha de cada uma delas e o total em gramas da massa retida em cada uma. Em cada recipiente do conjunto de peneiras foi retirada uma amostra de 1 g e destinada ao processo de hidrólise ácida como forma da obtenção de açúcares fermentescíveis. Os valores obtidos em cada leitura foram convertidos a g/L do material líquido, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Concentração de açúcar de acordo com a granulometria.

Ácido	Concentração do ácido (%)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Proporção Massa/Vol (g ml ⁻¹)	Conc de açúcar (g L ⁻¹)	Peneira
HCl	5	60	100	1/15	0,590	1
HCl	5	60	100	1/15	0,979	2
HCl	5	60	100	1/15	1,163	3
HCl	5	60	100	1/15	1,210	4
HCl	5	60	100	1/15	1,227	5
HCl	5	60	100	1/15	1,357	Fundo

Fonte: Autores.

A Tabela 2 especifica qual solução e parâmetros utilizados em cada um dos recipientes demonstrados na Tabela 1. Observa-se que o ácido, a concentração, o volume, o tempo e temperatura permaneceram fixos, variando apenas a granulometria, cuja cada uma das peneiras corresponde a uma distinta e estão discriminadas na última coluna da Tabela 2.

A amostra inicial da palha do feijão, antes da separação das partículas de acordo com a granulometria, apresentou uma concentração em açúcar de 0,335 g L⁻¹, havendo, portanto, açúcar na matéria-prima e a possibilidade de geração do bioetanol.

Como a geração de bioetanol a partir de resíduos depende de sua composição lignocelulósica, maiores quantidades em celulose e hemicelulose e menor quantidade de lignina, as técnicas de granulometria, pré-tratamento e hidrólise permitem uma redução na parte cristalina da celulose, quebra da barreira física formada pela lignina e quebra das interações complexas entre celulose e hemicelulose, facilitando o acesso aos açúcares fermentescíveis pelos agentes da hidrólise (Chammén, et al., 2013).

Buscou-se essa composição lignocelulósica para a palha do feijão através de outros autores e comparação com a espécie em análise (palha do feijão Caupi), expondo seus valores e potencialidade para a fermentação alcoólica. De acordo com Calixto (2016) os valores para celulose, hemicelulose e lignina, respectivamente, foram 41,0 %; 20,6 % e 5,3 % e para Lopes (2018) foram 24,68 %; 16,97 % e 11,56 %, em que todos possuíram valores de hemicelulose e celulose maiores que o referente a lignina.

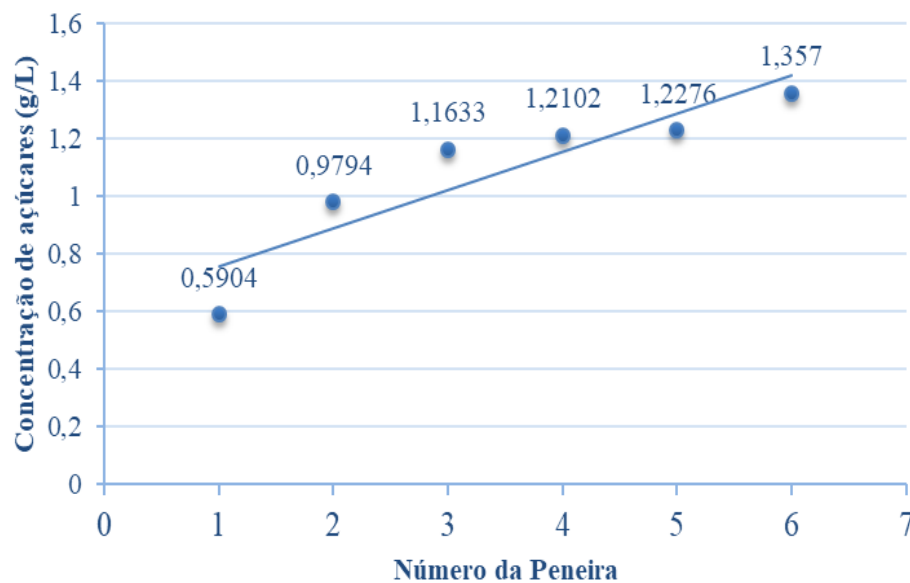
A palha do feijão utilizada para a pesquisa contou com os valores de celulose, hemicelulose e lignina, respectivamente, em 30,67 %; 30,0 % e 5,87 %. Percebendo assim o mesmo comportamento que os outros autores, com valores mais altos para celulose e hemicelulose, o que a torna acessível e apta para a possibilidade da produção de bioetanol.

Nesse contexto, o presente trabalho buscou formas de aumentar o valor de açúcar da

matéria-prima para uma produção em maior quantidade de álcool realizando o processo de ensaio granulométrico.

Com os valores da concentração de açúcar em cada uma das amostras, descritos na Tabela 2, foi traçado um gráfico, através do Software Excel, demonstrando a evolução na formação de açúcares em decorrência da diminuição da granulometria da partícula, Figura 6.

Figura 6. Relação granulométrica com a concentração de açúcares, onde é possível observar o aumento de açúcar em decorrência da diminuição do diâmetro da partícula.



Fonte: Autores.

A Figura 6 deixa clara a formação de um gráfico representando o crescimento da quantidade em açúcar na palha do feijão, na medida em que há uma diminuição na granulometria da partícula.

A cinética química é uma ciência que estuda a velocidade em que as reações acontecem, bem como os mecanismos e processos que ocorrem durante as transformações das reações, observando os fatores que influenciam de forma positiva ou negativa na velocidade (Lima, 2014). Os fatores que aumentam essa velocidade das reações são: Concentração de reagentes, temperatura, pressão, catalisadores, superfície de contato e outros (Marani et al., 2017).

Nesse sentido, a teoria da cinética química afirma que o contato é um fator essencial nesse aumento de velocidade, uma vez que favorece a aproximação e contato entre os reagentes e suas moléculas, ocasionando colisões efetivas entre si, formando estruturas moleculares e os produtos finais de uma reação (Silva, 2017).

Para tanto, um ensaio de granulometria proporciona à partícula uma diminuição no seu diâmetro e diferentes frações de tamanhos, permitindo um aumento na superfície de contato e possivelmente maior velocidade nas reações em menos tempo.

Nesse contexto, foi perceptível através do gráfico da Figura 6 que o comportamento das partículas do pó da palha em relação a quantidade de açúcares presentes nela obedece ao requisito da teoria cinética, em que partículas de menores diâmetros possuem uma maior colisão efetiva entre si, implicando em um aumento da velocidade das reações e, neste caso, formando maiores quantidades em açúcares fermentescíveis. A peneira de malha #0,15 mm e a de número 6 (fundo), com partículas de menor diâmetro, conseguiram produzir uma maior quantidade de açúcares.

Ainda foi possível observar de forma mais explícita, Figura 6, que os valores de concentração de açúcar aumentaram gradativamente de acordo com a diminuição do diâmetro da peneira, com resultados em torno de 100 % na concentração de açúcar da massa contida do fundo da peneira em relação a peneira de malha #2,36 mm.

Rodrighero et al. (2015) analisam que um aumento da superfície de contato pode apressurar a cinética das reações e Marcini e Zanin (2002) afirmam que essa diminuição da partícula atenua os índices de cristalinidade da celulose, possibilitando uma melhor conversão termoquímica por produtos agroindustriais, aumentando a velocidade de reação, corroborando assim para uma maior eficiência na produção de açúcares. Justificando assim esse aumento gradativo na concentração de açúcar em decorrência da diminuição do diâmetro da partícula. Em relação a amostra inicial, sem a aplicação de qualquer procedimento físico ou químico, chamada de amostra branca, houve um aumento em torno de 400 % na formação de açúcares quando comparada essa amostra àquelas partículas obtidas na peneira de número 6, reafirmando assim, os efeitos positivos do processo de hidrólise e da superfície de contato com a granulometria para a formação do Bioetanol.

4. Considerações Finais

O mundo inteiro é dependente de energia para sua subsistência e grande parte dessas fontes de energia são provindas dos combustíveis fósseis. Entretanto, essa fonte tem ocasionado grandes complicações ao meio ambiente, como a poluição atmosférica, além de não ser considerada renovável devido ao seu longo tempo de formação e poder vir a se tornar escassa, tem elevado cada vez mais o seu valor de compra.

Através do estudo realizado sobre a palha do feijão, pode-se concluir que o processo reacional da hidrólise ácida aplicada a partículas que apresentam menores dimensões, ou seja, com maior área superficial, apresentam uma melhor taxa de conversão em açúcares fermentescíveis, como observado através do aumento em torno de 400% nesta formação.

Para estudos posteriores, a pesquisa visa a realização da hidrólise em condições de tempo, temperatura e pressão mais severa, além de estabelecer um novo planejamento experimental para testes com diferentes granulometrias. Ademais, a matéria-prima, diante dos procedimentos de pré-tratamento físico, hidrólise e ensaio granulométrico, apresenta indícios favoráveis para a produção alcóolica.

Agradecimentos

Ao CNPq pelo incentivo a pesquisa e extensão e financiamento de bolsas para a continuação de projetos. E a Universidade Federal Rural do Semiárido, por meio do Grupo de Pesquisa em Processos e Análises Químicas (GPAQ) pela disponibilidade de laboratórios e incentivo a educação.

Referências

Ávila, I., Crnkovic, P. M., & Milioli, F. E. (2007). Determinação dos parâmetros de arrhenius da reação de sorção do dióxido de enxofre por calcário. *Revista Química Nova*, 30 (4).

Brasil. (2007). *Biocombustíveis: 50 perguntas e respostas sobre este novo mercado*. Petrobrás: Rio de Janeiro.

Calixto, G. Q. (2016). *Caracterização energética e avaliação dos produtos da pirólise rápida de resíduos agrícolas regionais*. Monografia para graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio grande do Norte, Brasil.

Campioni, T. S., Coral, J. D., Goelzer, F. D., Karp, S. G., Letti, L. A. J., Maceno, M. A. C., Rodrigues, C., Sobral, K. C. A., Soccol, C. R., & Woiciechowski, A. L. (2016) *Biotecnologia aplicada à agro & indústria: Fundamentos e aplicações*. 4.

Carvalho, L. L. M. (2016). *Estudo da hidrólise e fermentação dos resíduos de milho (Zea mays) para produção de etanol de segunda geração*. Dissertação de mestrado em Engenharia química, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil.

Chemmes, C. S., Silva, F. C., Souza, L. S., Junior, R. A. A., & Campos, L. M. A. (2013). Estudo de métodos físico-químicos no pré-tratamento de resíduos lignocelulósicos para produção de etanol de segunda geração. *Revista unifaes*, 12.

Coelho, J. D. (2019). Produção de grãos – feijão, milho e soja. *Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE*, 4 (81).

Companhia Nacional de Abastecimento. (2019). *Perspectivas para a agropecuária*. Brasília: Conab, 1.

Kumar, P., Barrett, D. M., Delwiche, M. J., & Stroeve; P. (2009). *Methods for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Efficient Hydrolysis and Biofuel Production*. Disponível em: <https://ucanr.edu/datastoreFiles/234-1388.pdf>.

Lima, C.F. (2014). *Introdução a cinética química*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/268146572_Introducao_a_Cinetica_Quimica, 20, nov. 2020.

Lopes, M. L., Lima, S. C., Godoy, P. A., Cherubin, R. A., Lorenzi, M. S., Giometti, F. H. C., Bernardino, C. D., Neto, H. B. A., & Amorim, H. V. (2016). Produção de etanol no Brasil: uma ponte entre ciência e indústria. *Revista brasileira de microbiologia*, 47 (1), 64-76.

Lopes, R. C. (2018). *Valor nutritivo e degradabilidade in situ da matéria seca de silagens de capim- elefante aditivadas com casca de vagem de feijão- comum*. Monografia para graduação em Zootecnia, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, Maranhão, Brasil.

Mancini, S. D., & Zanin, M. (2002). Influência de Meios Reacionais na Hidrólise de PET Pós-Consumo. *Revista Polímeros*. 12 (1).

- Marani, P. F., Oliveira, T. A. L., & Sá, M. B. Z. (2017). Concepções sobre Cinética Química: a influência da Temperatura e da Superfície de Contato. *ACTIO: Docência em ciências*, 2 (1), 321-341.
- Morais, A. P. S., & Broetto, F. (2012). Pré-hidrólise ácida de bagaço de cana-de-açúcar e sua caracterização físico-química. *Revista Energia na Agricultura*, 27 (4), 01-12.
- Morais, J. P. S., Rosa, M. F., & Marconcini, J. M. (2010). *Procedimentos para análise lignocelulósica*. Campina Grande: Embrapa.
- Mota, C. J. A., & Monteiro, R. S. (2013). Química e sustentabilidade: novas fronteiras em biocombustíveis. *Revista química nova*. 36 (10).
- Mota, J.C. Almeida, M. M., Alencar, V. C., & Curi, W. F. (2009). *Impactos e benefícios ambientais, econômicos e sociais dos biocombustíveis*, 6 (3), 220-242.
- NBR NM, Norma Brasileira 248. (2001). *Agregados – Determinação da composição granulométrica*.
- Oliveira, A. P. S. (2017). Desempenho da palha de feijão como meio filtrante no tratamento da água residuária da suinocultura. *Diversidade e Gestão*, 1(2), 198-206.
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Pompelli, M. F., Jarma O., Alfredo, J., Oliveira, M. T., Rodrigues, B. R. M., Barbosa, M. O., Santos, M. G., Oliveira, A. F. M., & Almeida-Cortez, J. S. (2011). Crise energética mundial e o papel do Brasil na problemática de biocombustíveis. *Revista Agronomia Colombiana*, 29 (2), 231-240.
- Rabelo, E.A. (2018). *Palhas de milho e de feijão como co-substratos na digestão anaeróbia de esterco bovino leiteiro*. Dissertação de mestrado em agronomia, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Rodrighero, M. B., Barth, G., & Caires, E. F. (2015). Surface application of lime with different magnesium contents and particle sizes under a no-till system. *Revista Química Nova*, 39 (6).

Sá, V. A., & Bianchi, M. L. (2015). *Métodos de pré-tratamentos da biomassa lignocelulósica para produção de bioetanol*. II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

Santos, M. F. R. F., Borschiver, S., & Couto, M. A. P. G. (2011). Iniciativas para o uso da biomassa lignocelulósica em biorrefinarias: a plataforma sucroquímica no mundo e no Brasil. *Economia & Energia*.

Silva, L. L. (2017). *Cinética química: Conceitos e aplicações de alguns experimentos em laboratórios*. Monografia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Inhumas, Goiás, Brasil.

Viriato, C. L. (2015). Influência da granulometria e da concentração de sólidos totais na codigestão anaeróbia de resíduos orgânicos. *Revista de estudos ambientais*, 17 (1), 6-15.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Karina Estrela Egídio – 65%

Breno Eduardo Carlos – 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%