

# BIOMASSA PROVENIENTE DA CASCA DA BANANA *Musa sapientum*: PRE-TRATAMENTO E HIDRÓLISE ÁCIDA PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE NA PRODUÇÃO DE BIOETANOL

Isaac Anderson Alves de Moura<sup>1</sup>  
Joelda Dantas<sup>2</sup>  
Ingrid Lelis Ricarte Cavalcanti<sup>3</sup>  
Márcia Martins de Lima<sup>4</sup>  
Marta Célia Dantas Silva<sup>5</sup>

## RESUMO

Em um cenário formado pelo crescimento populacional e enriquecimento de países em desenvolvimento, a demanda por alimentos e energia tem se tornado um desafio aos grandes centros de produção e consumo, o que reforça a necessidade de obtenção de fontes alternativas, limpas e renováveis de energia, em que, por exemplo, a utilização da biomassa se encaixa perfeitamente no contexto de desenvolvimento sustentável. Assim, para contribuir nesse âmbito, este trabalho teve como objetivo coletar os resíduos provenientes da casca da banana prata (*Musa sapientum*), quantificar a biomassa residual da casca, proceder com o pré-tratamento e realizar a hidrólise ácida com ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). O estudo preliminar com a casca da banana evidenciou que este tipo de resíduo gera uma grande quantidade de rejeitos que podem ser utilizados como fonte de biomassa, apresentando uma média de 41,02 % por fruto. A casca da banana foi coletada na EEIF Virgílio de Aguiar Gurgel, localizada na cidade de Lavras da Mangabeira-CE. A biomassa foi submetida à secagem, trituração e peneiração, seguida de hidrólise ácida. O material desse estudo foi submetido a ensaio de sólidos solúveis em suspensão antes e depois a hidrólise ácida, apresentando na forma in natura 8%. Quanto ao hidrolisado, os ensaios foram realizados utilizando 0,5, 1,0 e 1,5 mols de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, nos quais foram observados 14, 18 e 22 % dos sólidos solúveis, respectivamente. A princípio pode-se perceber um considerável potencial para produzir bioetanol a partir dos resíduos gerados da bananicultura (casca). Vale salientar que estudos mais detalhados como determinação de açúcares devem ser realizados para constatar a presença de açúcar fermentável.

**Palavras-chave:** Biomassa, pré-tratamento, hidrólise ácida, banana.

## INTRODUÇÃO

A investigação explícita e categórica dos impactos socioeconômicos e ambientais que são gerados no setor de energia renovável em vista do desenvolvimento sustentável, crescem exponencialmente diante do atual *status* do estilo de vida das sociedades no mundo. De acordo com Trombeta e Caixeta Filho (2017), num cenário formado pelo crescimento

<sup>1</sup>Mestrando do Curso em Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, [isaacmoura@cear.ufpb.br](mailto:isaacmoura@cear.ufpb.br);

<sup>2</sup>Professora coorientadora: Doutora, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, [joelda.dantas@cear.ufpb.br](mailto:joelda.dantas@cear.ufpb.br);

<sup>3</sup>Mestranda do Curso em Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, [ingrid\\_lelis@hotmail.com](mailto:ingrid_lelis@hotmail.com);

<sup>4</sup>Doutoranda do curso em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, [marciamartins10@yahoo.com.br](mailto:marciamartins10@yahoo.com.br);

<sup>5</sup>Professora orientadora: Doutora, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, [marta.cds@cear.ufpb.br](mailto:marta.cds@cear.ufpb.br).

populacional e enriquecimento de países em desenvolvimento, a demanda por alimentos e energia tem se tornado um desafio aos grandes centros de produção e consumo. Além disso, os novos paradigmas relacionados à mitigação de impactos ambientais, dentre eles a minimização das emissões de gases do efeito estufa, reforça a necessidade de obtenção de fontes alternativas, limpas e renováveis de energia.

Com os compromissos mais sólidos assumidos desde a assinatura do Protocolo de Kioto em 1997, e em função de ser o petróleo, principal fonte de energia utilizada hoje, um combustível fóssil e não renovável, uma das maiores preocupações do mundo atual tem sido o suprimento de energia para as próximas décadas, razão pela qual intensificaram a atenção quanto às fontes alternativas de energia (SOUZA et al., 2012). Wu et al. (2020) corroboram ao supracitado até aqui, com o relato de que a geração de energia renovável experimentou um rápido crescimento com o desenvolvimento acelerado da indústria moderna nas últimas décadas e com os problemas decorrentes da escassez mundial de energia e da poluição ambiental. Dados apontam que o consumo mundial de energia deve subir até 28% entre 2015 e 2040, enquanto na Ásia é esperado um aumento de 51% no consumo de energia, o maior em qualquer outra região do mundo (KAMRAN, FAZAL e MUDASSAR, 2020).

Dentro dessa abordagem, Vieira et al. (2014) reportaram que como o crescimento populacional e econômico mundial tem aumentado rapidamente a demanda energética, a oferta de derivados do petróleo tende a diminuir, provocando cada vez mais a preocupação por novas alternativas energéticas. As fontes de energia renováveis, como a biomassa, desempenham um papel fundamental no contexto energético, ambiental e socioeconômico, vista como umas das possibilidades futuras de geração de energia.

Conforme Kamran, Fazal e Mudassar (2020) o nível de investimento em projetos relevantes para energia renovável aumentou drasticamente em todo o mundo na última década (2007-2017). Observou-se \$104 bilhões em 2007, que saltaram para \$279,8 bilhões em 2017. Esse aumento dramático dobrou a capacidade instalada de geração de energia renovável de 1070 GW (2007) para 2195 GW (2017), expandindo para mais do que o dobro. Essa tendência é plausível para a vitalização da sustentabilidade e o ambiente livre de poluição. Portanto, vários países estabeleceram metas desafiadoras para os próximos anos no setor de energia renovável.

As fontes renováveis de energia inserem-se nas formas de produção de energia em que suas fontes são capazes de manterem-se disponíveis durante um longo prazo, contando com recursos que se regeneram ou que se mantêm ativos permanentemente. As fontes de energia

renováveis contam com recursos não esgotáveis, dividida em vários tipos de fontes de energia, como a solar, eólica, hídrica, biomassa, geotérmica, das ondas e a das marés (PENA, 2014). No entanto, vale ressaltar que historicamente, considerações econômicas triunfaram sobre todas as outras considerações ao selecionar uma fonte de energia (MURRAY e HOLBERT, 2020).

Assim, a energia oriunda da biomassa se insere perfeitamente dentro da abordagem relacionada às considerações econômicas. Dentre as inúmeras fontes alternativas de energia, a que é proveniente da biomassa lignocelulósica tem sido muito pesquisada, especialmente pelo seu potencial de produzir biocombustíveis, que equivalem a uma fração significativa do volume de petróleo hoje extraído no mundo. Os biocombustíveis são combustíveis obtidos a partir da biomassa lignocelulósica por meio de diferentes processos bioquímicos para produção do bioetanol, produtos químicos, biogás e biofertilizantes (EICHLER et al., 2015).

Particularmente em relação ao bioetanol, o qual é conhecido como etanol de segunda geração e produzido a partir de fontes como biomassa lignocelulósicas, este tem merecido especial atenção, uma vez que, conforme Bonissato et al. (2015), o etanol é obtido principalmente da fermentação de açúcares provenientes de fontes sacarinas e amiláceas, sendo que devido ao aumento do consumo de etanol nos últimos anos, vem crescendo o interesse em obter novas fontes de matérias-primas para produção desse combustível, fortalecendo as metodologias de produção.

Entre os resíduos gerados na agricultura encontra-se a biomassa da bananicultura. As condições de produção, industrialização e comercialização da banana geram uma grande quantidade de matéria vegetal, tanto em termos de resíduos acumulados quanto de frutos rejeitados (SOUZA et al., 2012).

Segundo o relatório do IBGE, publicado em fevereiro de 2018, a banana destaca-se na primeira posição no *ranking* mundial das frutas, com uma produção de 106,5 milhões de toneladas. O Brasil produz quase 7 milhões de toneladas, com participação de 6,9% nesse total. Especialmente na cidade de Lavras da Mangabeira, no estado do Ceará, os dados sobre a produção de banana (cacho) apontam uma área colhida 160 hectares, área destinada à colheita 160 hectares, quantidade produzida 4.620 toneladas e um rendimento médio de 28,88 toneladas por hectare (IBGE, 2018).

Levando em consideração a quantidade de resíduo agroindustrial gerada proveniente da bananicultura, é de grande importância ambiental buscar formas para destiná-lo e aproveitá-lo. Uma das possibilidades, por exemplo, é o aproveitamento dessa biomassa para

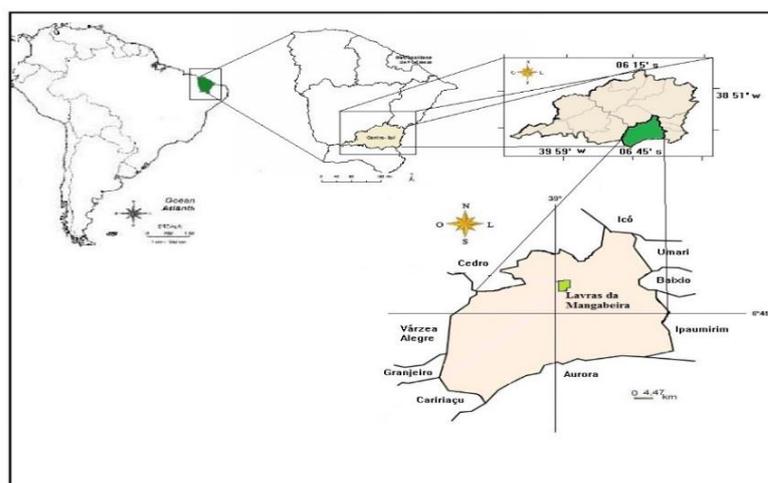
obtenção de etanol, acarretando em uma melhoria da qualidade ambiental, impedindo que a mesma seja descartada em aterros sanitários, não causando nenhum malefício à sociedade.

A lignocelulósica protege a celulose e hemicelulose no interior da matéria-prima, logo, algumas etapas são necessárias para que a quebra da cadeia aconteça. Métodos de pré-tratamento são aplicados com o objetivo de iniciar a degradação da matéria e em seguida procede-se com uma hidrólise, a qual favorece a quebra dos polissacarídeos em glicose para fermentação e destilação eficazes.

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo coletar os resíduos provenientes da casca da banana prata (*Musa sapientum*), quantificar a sua biomassa residual, realizar o pré-tratamento e hidrólise ácida utilizando ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), averiguando por meio dos Sólidos Solúveis em Solução (SSS) se os procedimentos utilizados obtiveram a ação esperada, para finalmente analisar se há indício de viabilidade na produção de bioetanol. Com isto, a expectativa é contribuir abrindo caminho para uma investigação mais aprofundada sobre como aproveitar da melhor forma a casca da banana, visando a importante inovação com a produção de bioetanol em larga escala e de maneira mais sustentável, a partir da biomassa em estudo.

## METODOLOGIA

Foram utilizados como biomassa rejeitos provenientes da casca da banana prata (*Musa sapientum*) fornecidas pela Escola de Ensino Infantil e Fundamental (EEIF) Virgílio de Aguiar Gurgel, localizada na cidade de Lavras da Mangabeira – CE, como ilustrado na Figura 1.



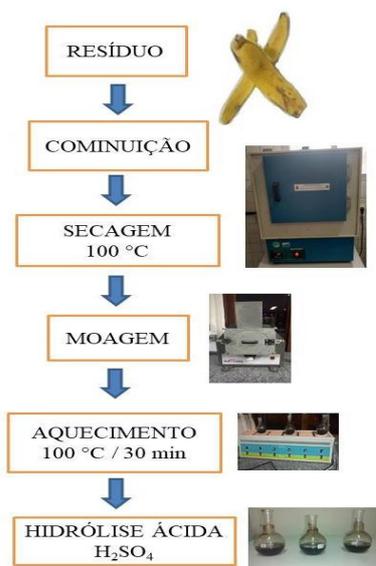
**Figura 1.** Localização do município de Lavras da Mangabeira, CE, Nordeste do Brasil. **Fonte:** Calixto Junior, Santana e Filho (2009).

Atualmente a cidade tem uma população estimada em cerca de 31 mil habitantes, e está mais especificamente situada na zona do sertão do Alto Jaguaribe, na mesorregião do centro-sul do Ceará e microrregião de Lavras da Mangabeira, tendo o solo irrigado pelas águas dos mananciais que descem do cariri.

As cascas da banana foram selecionadas, em seguida fez-se fragmentação, secagem e moagem para facilitar a conservação da matéria-prima.

Para quantificar a biomassa residual da casca da banana, foram coletadas amostras do fruto, seguida de pesagem do fruto completo, polpa e casca, utilizando balança de precisão, marca AAKER, modelo M214Ai.

O processo experimental está descrito nas etapas demonstradas na Figura 2: (I) pré-tratamento, para romper a estrutura cristalina da celulose, (II) hidrólise ácida, para hidrolisar os polissacarídeos em açúcares.



**Figura 2.** Esquema simplificado do procedimento experimental utilizado. **Fonte:** Autoria própria.

A preparação da matéria-prima e pré-tratamento se deu através de cortes em pedaços menores que 3 cm, realizados manualmente com auxílio de uma tesoura, pesados e levados a estufa da marca MARCONI, modelo MA 035, onde o resíduo permaneceu por 24h a 100°C, depois submetido à moagem em um moinho de facas macro, da marca MHTOLI e modelo 050M020.

Em seguida, o resíduo foi levado para peneiração mecânica utilizando um peneirador Marca MATEST, modelo PENEIRADOR, com objetivo de padronização da granulometria da biomassa. Foram selecionadas as peneiras de *meshs* 12, 18, 20, 30, 40, 50, 70 e 80, vibração 60 (agitação).

Posteriormente foi realizado o ensaio do SSS (Sólidos Solúveis em Suspensão) da biomassa *in natura*. Foi utilizado balão volumétrico de fundo chato de 250 mL contendo 100 mL de água destilada. A concentração de resíduo foi de 5, 10 e 20 g de massa seca. Os volumes de trabalho foram levados para aquecimento a 100 °C por 30 minutos. Depois foram retirados e resfriados para análise. A leitura do SSS foi realizada utilizando um refratômetro modelo RHB-32ATC portátil *scanner* de mão que possui uma Faixa de medição: 0-32% SSS, divisão mínima SSS 0,2% e uma faixa de compensação automática de Temperatura entre 10 – 30 °C.

Para hidrólise ácida utilizou-se ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) devido a sua disponibilidade e facilidade no manuseio. Misturou-se 20 g da matéria lignocelulósica da banana proveniente do pré-tratamento com 100 mL de solução composta por água destilada e ácido sulfúrico a 5, 10 e 15%, em um balão de fundo chato de capacidade de 250 mL. O conjunto foi aquecido a uma temperatura de 100 °C durante 30 minutos e deixado arrefecer. Em seguida foi realizada uma filtração a vácuo utilizando um sistema formado por uma bomba de vácuo SOLAB/SL-60, *becker* de 500 mL e filtro de cerâmica 10 mm. Posteriormente, foram realizados ensaios após cada atividade mencionada para confirmar a presença e quantidade dos SSS (Figura 3).



**Figura 3.** Configuração do hidrolisado. **Fonte:** Autoria própria, 2018.

## DESENVOLVIMENTO

Denomina-se biomassa qualquer matéria orgânica de origem vegetal ou indiretamente animal, formada pelo processo de fotossíntese, que ocorre na presença de luz solar. Pode-se dizer que a biomassa é uma forma de armazenamento de uma pequena fração da energia solar que incide na superfície da Terra. Essa energia é armazenada na forma de ligações moleculares orgânicas e, por sua vez, é transformada e liberada por processos biológicos e

termoquímicos. Ao contrário da energia dos combustíveis fósseis, a biomassa é renovável (GROSSI, 2015).

Segundo Danmaliki (2016) a matéria de lignocelulose é caracterizada pelo seu teor de carboidratos, servindo como pré-requisito para produção de etanol. A biomassa é composta de celulose (40–50%), hemicelulose (25–35%) e lignina (15–20%).

As bananeiras são angiospermas pertencentes ao Gênero *Musa*. De origem asiática, atualmente são cultivadas em várias regiões do planeta, especialmente em climas tropicais. A banana é um dos principais produtos de exportação do Brasil. Existem aproximadamente 100 (cem) variedades de bananas cultivadas em todo o mundo. É um alimento muito nutritivo, rico em sacarose, frutose, glicose, fibras e sais minerais, como cálcio, ferro, sódio, zinco, potássio, magnésio, fósforo, além das vitaminas do tipo, A, B1, B2 e C, que possui poucos lípidios, sendo, portanto, de fácil digestão (ARAGUAIA, 2018).

O pré- tratamento também pode ser visto como uma etapa de degradação da biomassa, quando a celulose é separada da fração hemicelulósica e lignina, e tem influência direta no arranjo dos componentes da estrutura do material lignocelulósico, e baseia-se em técnicas como tratamentos térmicos, químicos, físicos, biológicos e/ou combinação deles (SANTIAGO e RODRIGUES, 2017).

O objetivo da hidrólise é degradar ainda mais os polissacarídeos presentes no processo lignocelulósico pré-tratado de resíduos de banana em subunidades de monossacarídeos. Os monossacarídeos que serão produzidos após a hidrólise aumentará o processo de fermentação por *S. Cerevisiae* (DANMALIKI et al., 2016).

A hidrólise ácida consiste na aplicação de ácido para que este possa quebrar as ligações existentes entre os monossacarídeos dos polissacarídeos, podendo ser usado ácido sulfúrico, clorídrico ou trifluoroacético. A diferença entre estes três ácidos, deve-se à forma como atuam, pois os ácidos sulfúrico e clorídrico atacam a celulose e a hemicelulose de forma similar, mas o ácido trifluoroacético hidrolisa preferencialmente as ligações mais fracas existentes entre os monossacarídeos, que são as ligações do tipo alfa ( $\alpha$ ) presente nas ramificações das hemiceluloses (BUCKERIDGE, SANTOS e SOUZA, 2010).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

No ensaio para determinação do percentual de casca por fruto, os dados da pesagem realizadas com 5 (cinco) amostras de banana estão reportados na Tabela 1, onde apresentou

uma média em percentual de  $41,02 \pm 0,015$  % de casca por fruto, percentual extraído da média do resultado adquirido por amostra. Esse resultado pode ser conferido com o de Vu, Scarlett, e Vuong (2018), que em sua pesquisa identificaram que cada fruta é constituída por 35% de casca, assim como, o de Souza et al. (2012), que em sua pesquisa na cidade de Aparecida/PB, identificaram que cada fruto é constituída por 34,89% de casca (banana prata). Resultado distante do encontrado nessa pesquisa foi percebido por Souza et al. (2012), em análise feita com fruto originado na cidade de Pombal/PB apresentando aproximadamente 29 % de casca por fruto da banana prata (*Musa sapientum*).

Amostras	1	2	3	4	5
<b>Peso Total (g)</b>	154,00	161,00	166,00	157,00	142,00
<b>Polpa (g)</b>	91,00	950,0	99,00	92,00	84,00
<b>Casca (g)</b>	63,00	66,00	67,00	65,00	58,00
<b>% da Casca</b>	40,09	40,90	40,30	42,20	40,80
<b>Média %</b>	<b>41,02<sup>0,015</sup></b>				

**Tabela 1.** Determinação do percentual de casca por fruto.

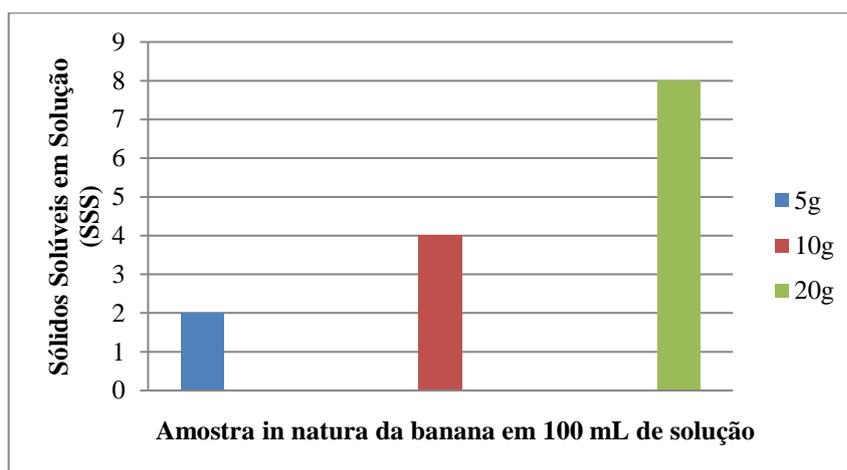
A peneiração foi realizada com o objetivo de padronizar o resíduo para ser utilizado nas análises. A amostra peneirada em *mesh* de número 80 foi selecionada por ter características de grânulos menores, caracterizando mais quebra da estrutura lignocelulósica. Foram levados para peneiração 182 g de amostra do resíduo, e obteve-se 27,69 da *mesh* desejada (Tabela 2).

	Mesh	Peso V (g)	Peso c/amostra (g)	Resultado (g)
<b>1</b>	12	329,41	349,33	19,92
<b>2</b>	18	426,15	441,77	14,92
<b>3</b>	20	326,85	351,58	24,73
<b>4</b>	30	324,23	356,37	32,14
<b>5</b>	40	326,40	346,67	20,27
<b>6</b>	50	304,76	325,30	20,54
<b>7</b>	70	291,64	313,43	21,79
<b>8</b>	80	371,37	398,73	27,69
			<b>Total</b>	<b>182 g</b>

**Tabela 2.** Peneiração mecânica da biomassa.

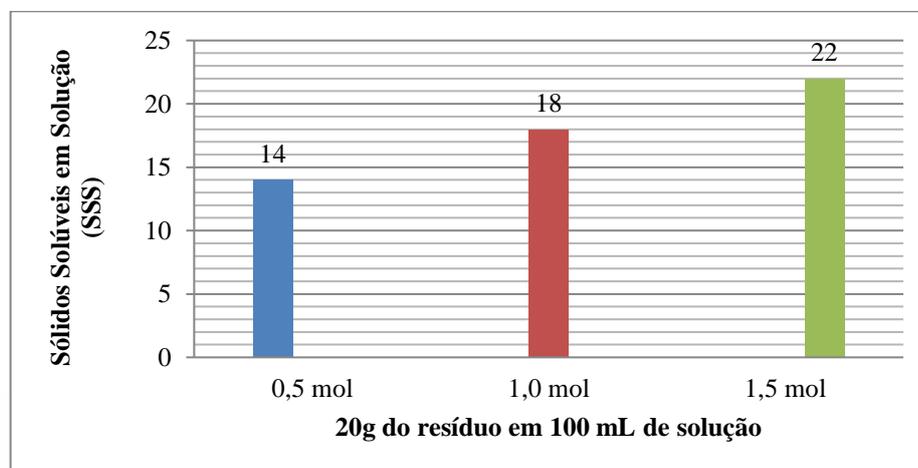
No ensaio dos sólidos solúveis em solução *in natura*, as amostras contendo quantidades distintas de resíduos apresentaram SSS 2, 4 e 8 para 5, 10 e 20 g de resíduo,

respectivamente, a qual foi a solução com maior porção da casca apresentando maior quantidade de sólidos solúveis (Figura 4). Outro dado observado é que a cada 2,5 g da banana era encontrado 1 % de sólidos solúveis. Em estudo realizado com a banana prata, os autores Silva et al. (2009) analisaram a polpa e a banana integral (polpa + casca) e observaram 20 e 18 respectivamente referente aos sólidos solúveis.



**Figura 4.** Ensaio dos sólidos solúveis em solução (SSS) do resíduo *in natura*.

No ensaio realizado com o hidrolisado, as soluções com diferentes quantidades de  $H_2SO_4$  para mesma porção de banana apresentou um aumento dos SSS (Figura 5), apontando uma eficiência na quebra da celulose e liberação dos açúcares através da hidrólise ácida. Para 0,5 mol de ácido o ensaio apresenta 14, no ensaio com 1,0 mol apresentou 18 e no ensaio utilizando 1,5 mol foi observado 22 de SSS. Pode-se observar que a quantidade de ácido utilizado para mesma quantidade de resíduo e temperatura foi um fator determinante para o aumento do SSS.



**Figura 5.** Ensaio dos sólidos solúveis em solução hidrolisada com  $H_2SO_4$ .

Silva et al. (2009) em pesquisa realizada com a mesma espécie estudada nesse estudo, para a polpa e a banana integral (polpa + casca) realizaram a hidrólise enzimática, a qual apresentou 26,8 e 24 de SSS, respectivamente. No trabalho desses autores citados foi percebido um aumento no sólido solúvel do hidrolisado em relação ao não hidrolisado, resultado que também foi percebido na presente pesquisa.

Assim, diante desses resultados apresentados e contextualizados, pode-se atribuir um indicativo de viabilidade na utilização de casca da banana para produzir bioetanol, o que sinaliza ser importante a continuidade e o aprofundamento dos estudos nessa linha.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo preliminar com a casca da banana evidenciou que este tipo de resíduo gera uma grande quantidade de rejeitos que podem ser utilizados como fonte de biomassa, pois a fruta banana é uma das mais consumidas em todo o Planeta. Na preparação da casca residual mediante o pré-tratamento mecânico observou-se que a quebra da estrutura lignocelulósica foi realizada quando analisado os sólidos solúveis existentes na solução *in natura*, este resultado é positivo levando em consideração o objetivo do pré-tratamento, que tem como função a quebra das ligações complexas da matéria orgânica, facilitando os procedimentos seguintes.

Quanto à hidrólise ácida utilizando  $H_2SO_4$  constatou-se sua eficácia quando foi percebido o aumento de aproximadamente 75% dos SSS comparando com a solução não hidrolisada.

Portanto, dos resultados obtidos neste trabalho, pode-se inferir que, a princípio, há uma possibilidade de se produzir bioetanol a partir dos resíduos gerados da bananicultura (casca), o que indica ser uma possível alternativa na produção desse biocombustível, e com a importante vantagem de não ser preciso aumentar a área cultivada de cana-de-açúcar, evitando competir diretamente com a produção de alimentos. Vale salientar que estudos mais detalhados, como a determinação de açúcares devem ser realizados para constatar a presença de açúcar fermentável. Contudo, os resultados aqui apresentados abre caminho para respaldar o indicativo de viabilidade da produção de bioetanol a partir da biomassa oriunda da casca de banana, potencializando o ciclo de produção de forma inovadora e de maneira mais sustentável, em vista da agregação de valor dada a um resíduo.

## REFERÊNCIAS

ARAGUAIA, M. "Banana". **Brasil Escola**. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/frutas/banana.htm>>. Acesso em 31 de agosto de 2018.

BONISSATTO, R. C.; SILVA, D. J.; ALMEIDA, J. M.; RODRIGUES, F. A.; RESENDE, S. T. MENDONÇA NETO, A. B. Processo de produção de etanol a partir da hidrólise ácida de biomassas lignocelulósicas. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2. p. 1–8, 2015.

BUCKERIDGE, M. S.; SANTOS, W. D.; SOUZA, A. P. **As rotas para o etanol celulósico no Brasil**. In: CORTEZ, L. A. B. (Coord.). Bioetanol da cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010. p. 365–380.

CALIXTO JÚNIOR, J. T; SANTANA, G. M.; FILHO, J. A. L. Análise quantitativa da arborização urbana de Lavas da Mangabeira, CE, Nordeste do Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 4, n. 3, 2009.

DANMALIKI, G. I.; MUHAMMAD, A. M.; SHAMSUDDEEN, A. A.; USMAN, B. J. Bioethanol Production from Banana Peels. **IOSR Journal of Environmental Science**, Ver. II, v. 10, n. 6, p. 56–62, 2016.

EICHLER, P.; SANTOS, F.; TOLEDO, M.; ZERBIN, P.; SCHMITZ, G.; ALVES, C.; RIES, L.; GOMES, F. Biomethanol Production via Gasification of Lignocellulosic Biomass. **Química Nova**, v. 38, n. 6, p. 828–835, 2015.

GROSSI, E. C. **Produção de etanol de segunda geração a partir de um derivado de celulose**. 75p, Dissertação (Tecnologias Química e Biológica), Instituto de Química, Universidade de Brasília, 2015.

IBGE. **Ceará, Lavras da Mangabeira, produção agrícola municipal - lavoura permanente – 2018**. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=230750&idtema=166&search=ceara|lavras-da-mangabeira|producao-agricola-municipal-lavoura-permanente-2018>>. Acesso em 25 de maio de 2019.

KAMRAN, M.; FAZAL, M. R.; MUDASSAR, M. Towards empowerment of the renewable energy sector in Pakistan for sustainable energy evolution: SWOT analysis. **Renewable Energy**, v. 146, p. 543–558, 2020.

MURRAY, R.L.; HOLBERT, K. E. Chapter 24 - Nuclear Energy Future. **Nuclear Energy** (Eighth Edition). An Introduction to the Concepts, Systems, and Applications of Nuclear Processes, p. 471–503, 2020.

PENA, R. F. A. "**Fontes renováveis de energia**"; Brasil Escola. 2014. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/fontes-renovaveis-energia.htm>>. Acesso em 23 de agosto de 2018.

SANTIAGO, B. L. S.; RODRIGUES, F. D. Á. Processamento de Biomassa Lignocelulósica Para Produção de Etanol: Uma Revisão. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 3, n. 7, p. 1011–1022, 2017.

SILVA, M. B. L.; CHAVES, J. B. P.; LELIS, V. G.; ALVARENGA, L. M.; ZUIM, D. R.; SILVA, P. H. A. Qualidade físico-química e sensorial de aguardentes de polpa de banana e banana integral submetidas à hidrólise enzimática. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 2, p. 217–221, abr./jun. 2009.

SOUZA, O.; SCHULZ, M. A.; FISCHER, G. A. A.; WAGNER, T. M.; SELLIN, N. Energia alternativa de biomassa: bioetanol a partir da casca e da polpa de banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 915–921, 2012.

TROMBETA, N. C.; CAIXETA FILHO, J. V. Potencial e Disponibilidade de Biomassa de Cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil: indicadores agroindustriais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, n. 3, p. 479–496, 2017.

VIEIRA, L. M. Brasil é o terceiro maior produtor de banana. **Revista Campo & Negócios**, 31 de Janeiro de 2015. Disponível em < <http://www.revistacampoenegocios.com.br/brasil-e-o-terceiro-maior-produtor-de-banana/>>. Acesso em 29 de outubro de 2017.

VU, H.T.; SCARLETT, C.J.; VUONG, Q.V. Phenolic compounds within banana peel and their potential uses: **A review. Journal of Functional Foods**, v. 40, p. 238–248, 2018.

WU, C.; WANG, J.; CHEN, X.; DU, P.; YANG, W. A novel hybrid system based on multi-objective optimization for wind speed forecasting. **Renewable Energy**, v. 146, p. 149–165, 2020.