

# ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO ALUMÍNIO E MAGNÉSIO NOS PROCESSOS FERMENTATIVOS DE RESÍDUOS HIDROLISADOS DA BANANEIRA PARA PRODUÇÃO DE ETANOL

Rodrigo Xavier Nolasco<sup>1</sup>

Sérgio Donizeti Ascêncio<sup>2</sup>

Fabiano Ballin<sup>3</sup>

Ilsamar Mendes Soares<sup>4</sup>

Odélio Joaquim da Costa<sup>5</sup>

Julianne Cutrim Nazareno<sup>6</sup>

**RESUMO:** Os diferentes processos para a produção de etanol possuem grande variação de custo de produção. Desta forma, a matéria-prima utilizada e o meio fermentativo constituem um forte fator no rendimento produtivo. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a produtividade de etanol de resíduos lignocelulósicos hidrolisados da bananeira, submetidos à adição de diferentes concentrações de magnésio e alumínio no mosto fermentativo. Neste experimento, foram utilizados o pseudocaule (PC) e a massa foliar da bananeira (MF). Os resíduos foram submetidos a um pré-tratamento intercalado entre ataque ácido e básico e, logo após, foi realizada a hidrólise enzimática da fração sólida. O experimento fermentativo foi composto por 2 concentrações de sulfato de alumínio (0, 50, 100 mg.L<sup>-1</sup>) e 3 concentrações de óxido de magnésio (0, 1, 2 e 3 mg.L<sup>-1</sup>), adicionados em 10 ml do mosto hidrolisado. O delineamento foi inteiramente casualizado com 3 repetições. Os diferentes resíduos estudados (PC e MF) obtiveram altos teores de glicose (73,24 e 79,75 g.L<sup>-1</sup> respectivamente), demonstrando o potencial desses materiais para a produção de etanol. Já na fermentação, houve diferenças significativas na adição de magnésio e alumínio, mostrando que o magnésio tem capacidade de elevar a produção de etanol em até 24% e que o alumínio pode gerar uma redução de 10% na produção. Entretanto, não houve diferenças significativas na

<sup>1</sup> Mestre em Agroenergia - Universidade Federal do Tocantins, Palmas (TO), Brasil.  
E-mail: rxnolasco@hotmail.com

<sup>2</sup> Doutor em Ciências (Bioquímica), Docente adjunto no Programa de Stricto sensu em Agroenergia - Universidade Federal do Tocantins, Palmas (TO), Brasil.

<sup>3</sup> Mestre em Agroenergia - Universidade Federal do Tocantins, Palmas (TO), Brasil.

<sup>4</sup> Doutor em em Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal - Bionorte - Universidade Federal do Tocantins, Palmas (TO), Brasil.

<sup>5</sup> Doutorando em Biotecnologia - Universidade Federal do Tocantins, Palmas (TO), Brasil.

<sup>6</sup> Mestre em Agroenergia - Universidade Federal do Tocantins, Palmas (TO), Brasil.

interação entre os minerais, o que significa que o magnésio não conseguiu suprimir o efeito tóxico causado pelo alumínio.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bioetanol; Influência mineral; Pseudocaule da bananeira.

## **INFLUENCE OF ALUMINUM AND MAGNESIUM IN FERMENTATION PROCESSES OF HYDROLIZED WASTES OF THE BANANA TREE FOR ETHANOL PRODUCTION**

**ABSTRACT:** Different processes in ethanol production has wide cost variations. Prime matter and the fermentation medium are a strong factor in production yield. Current assay evaluates the productivity of ethanol from hydrolyzed lignocellulose residues of the banana tree with the addition of different concentrations of magnesium and aluminum in the fermentation must. The banana tree´s pseudo-stem (PC) and the leaf mass were used. Wastes underwent pretreatment intercalated between base and acid and, afterwards, enzymatic hydrolysis of the solid fraction was performed. Fermentation assay was composed of two concentrations of aluminum sulfate (0, 50, 100 mg.L<sup>-1</sup>) and 3 concentrations of magnesium oxide (0, 1, 2 and 3 mg.L<sup>-1</sup>), with 10 ml of hydrolyzed must. Assay design was totally randomized with 3 replications. Different wastes under analysis (PC and MF) had high glucose rates (73.24 and 79.75 g.L<sup>-1</sup> respectively), and showed the capacity of the material for ethanol production. There were significant differences in fermentation in the addition of magnesium and aluminum. Magnesium is capable of raising ethanol production up to 24% whilst aluminum may generate a reduction of 10% in production. However, there were no significant differences in the minerals´ interaction, or rather, magnesium did not suppress the toxic effect caused by aluminum.

**KEY WORDS:** Bioethanol; Mineral influence; Pseudo-stem of the banana tree.

## **INTRODUÇÃO**

A conscientização do aquecimento global, bem como outras questões ambientais, tem mantido o interesse no desenvolvimento de métodos para mitigar as emissões de gases efeito estufa (GEE) e diminuir a produção de poluentes. Um desses métodos de redução é o uso de biocombustíveis produzidos a partir de fontes renováveis de energia (JANG *et al.*, 2012; MEINITA *et al.*, 2011). As emissões de GEE

do etanol comparadas às emissões da gasolina podem ser entre 47 a 70% menores, dependendo do cenário avaliado (LEWANDROWSKI, 2019).

Mesmo com os efeitos positivos relacionados à produção do etanol a partir de sacarinas ou amiláceas, como milho e cana-de-açúcar, existe muita preocupação para uma possível expansão excessiva do cultivo dessas matérias-primas, que resultaria em decréscimo das áreas para produção de alimentos (ARIFIN *et al.*, 2014; FAO, 2019).

Assim, existe interesse nas biomassas residuais de composição lignocelulósica para produção de energia, destacando-se neste caso o etanol de segunda geração (JOHN *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2012). Entre a biomassa lignocelulósica disponível se encontram os resíduos provenientes da produção de banana, que é a fruta com uma produção mundial de 113.918.763 milhões de toneladas (FAO, 2019).

Para cada tonelada de banana colhida são geradas aproximadamente 4 toneladas de resíduos, incluindo a casca, folhas, pseudocaule e engajo do cacho. Sendo 75% desses resíduos compostos de pseudocaule (tronco) de bananeira. A bananeira é uma planta monocotiledônea e herbácea, ou seja, a parte aérea é cortada após a colheita (SOUZA *et al.*, 2014a).

A maioria destes resíduos é descartada pelos agricultores em locais inadequados ou queimados, o que provoca uma série de preocupações ambientais (INGALE; JOSHI; GUPTE, 2014).

Segundo Reddy *et al.* (2010), resíduos da bananeira contêm cerca de 28,92% de celulose, 25,23% de hemicelulose e 10,56% de lignina. Isto indica que esta matéria-prima tem grande potencial para conversão em biocombustível. Resíduos dessa cultura têm sido utilizados para diversos fins energéticos, entre eles, para a produção de etanol (SHARMA *et al.*, 2007; BELLO *et al.*, 2012). Entretanto, a composição do caldo destinado a fermentação alcoólica pode variar, dependendo da fonte da matéria-prima, afetando vários parâmetros operacionais na indústria (BASSO; BASSO; ROCHA, 2011). Segundo Stehlik-Thomas *et al.* (2004), alguns minerais desempenham papéis importantes como cofatores de enzimas e na manutenção da homeostase celular em leveduras.

O magnésio ( $Mg^{2+}$ ) é o mais abundante cátion divalente intracelular e representa cerca de 0,3% do peso seco da célula de levedura. Atua como um cofator

para diversas enzimas envolvidas em diferentes reações metabólicas, como a enolase, que converte 2-fosfoglicerato em 2-fosfoenolpiruvato (SCHREIER; HOCKER, 2010), piruvato-quinase, que converte 2-fosfoenolpiruvato em piruvato e piruvato-descarboxilase, que converte mais piruvato em acetaldeído (TUN *et al.*, 2013).

SOUZA *et al.* (2014b) observaram uma diminuição na produção de etanol nos lotes que apresentaram uma menor concentração de íons de  $Mg^{2+}$  e Fósforo ( $P^+$ ). Karamushka e Gadd (1994) relataram um efeito protetor do  $Mg^{2+}$  em relação à toxicidade causada por concentrações elevadas de  $Cu^{2+}$  em ambiente laboratorial. Assim sendo, a absorção de magnésio e subsequente utilização metabólica parece ser um pré-requisito para atingir o máximo de atividade de fermentação da levedura (CHANDRASENA; WALKER, 1997).

Outros minerais, tais como o alumínio, também apresentam um quadro de toxicidade, tornando-o um fator limitante na produção de várias culturas (ZEL *et al.*, 1993). Segundo Aranha (2002), o mosto e o meio fermentativo podem ser contaminados pelo alumínio através da cana-de-açúcar cultivada em solos ácidos com grande disponibilidade de alumínio e da utilização de água tratada com alúmen de potássio ou sulfato de alumínio, um tratamento muito comum em meio industrial.

Para verificar a atividade mineral na fermentação de resíduos lignocelulósicos, este trabalho avaliou a rentabilidade dos resíduos lignocelulósicos da bananeira na produção de etanol sob diferentes concentrações de magnésio e alumínio no mosto fermentativo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 COLETA E PREPARO DOS MATERIAIS

A coleta dos resíduos das bananeiras foi realizada na unidade experimental do *Campus* do Instituto Federal de Ciências e Tecnologias, no município de Araguatins, Estado do Tocantins. A variedade de banana escolhida foi a cultivar FHIA-18, grupo genômico AAAB. Seguindo o método descrito por Gabhane *et al.* (2013), os exemplares foram coletados seis meses após obrotamento, utilizando

ferramentas de aço inoxidável. Os resíduos foram separados em duas diferentes partes morfológicas: pseudocaule (PC) e massa foliar (MF); e secos ao sol durante 2 dias, depois em estufa a 70 °C até peso constante. Este material foi moído em moinho de faca tipo “Willie” até atingir o tamanho de 18 mesh. O material moído foi mantido protegido de umidade em sacos de papel à temperatura ambiente até a realização do pré-tratamento.

## 2.2 PRÉ-TRATAMENTO

O pré-tratamento seguiu o método de Batista (2016) com modificações. Foram realizadas duas etapas, a etapa inicial foi um pré-tratamento ácido sobre os materiais (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 1% v/v, 150g material/500 ml solução) por 60 min. à temperatura de 120 °C em autoclave. As amostras foram filtradas a vácuo com papel filtro de 14 μ de abertura de poro e lavadas com 1000 ml de água quente (90 a 100 °C), seguido de outra lavagem com 80 ml de acetona. O resíduo sólido extraído da filtragem foi seco em estufa a 70 °C por 12 horas. Sobre o resíduo seco, foi realizado um pré-tratamento básico (NaOH a 4% v/v, 150g material/1000 ml solução), seguindo procedimento semelhante ao do pré-tratamento ácido. Os resíduos pré-tratados tiveram suas massas mensuradas a fim de verificar a quantidade de fibras recuperadas.

## 2.3 HIDRÓLISE ENZIMÁTICA

O resíduo pré-tratado foi submetido à hidrólise enzimática. Para tanto, utilizou-se uma associação dos complexos enzimáticos Cellic® HTec2 e Cellic® CTec2 (Novozymes®). O meio reacional foi constituído de 5,0 g do resíduo pré-tratado, diluído em 100 ml de tampão citrato de sódio/ácido cítrico (0,05 M, pH = 5). O complexo enzimático Cellic CTec2 e HTec2 foi adicionado ao meio, a 6,0% no volume final. As reações enzimáticas ocorreram em banho-maria a 48 °C, durante 72 horas. Este procedimento foi realizado em 10 repetições.

A fermentação foi realizada em batelada única, tanto para PC quanto para MF, com 10 ml de caldo hidrolisado. O arranjo experimental adotado foi o inteiramente casualizado, arranjo de 4x3 (M0, M1, M2 e M3 x A0, A1 e A2), em triplicatas, nas

seguintes concentrações: 0; 100; 200; e 300 mg/L<sup>-1</sup> de óxido de magnésio ou de 0; 50; e 100 mg/L<sup>-1</sup> de sulfato de alumínio (15% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) para cada lote fermentativo. As concentrações foram calculadas tendo como base os trabalhos de Trofimova *et al.* (2010) e Aranha (2002). Seguindo a recomendação de Pereira (2007), o sulfato de amônio, na concentração de 5 g.L<sup>-1</sup>, foi utilizado como fonte de nitrogênio. O microrganismo utilizado no processo fermentativo foi a *Saccharomyces cerevisiae* - levedura comercial de panificação (marca Dona Benta®), na concentração de 10 g.L<sup>-1</sup>. A incubação ocorreu em shaker a 32 °C, a 100 rpm por 24 horas (LALUCE *et al.*, 2009).

## 2.4 MÉTODOS ANALÍTICOS

### 2.4.1 Determinação de fibras

O teor de fibras foi determinado pelo método de quantificação das Fibras em Detergente Neutro (FDN) proposto por Van Soest (1994).

### 2.4.2 Determinação de glicose e etanol

A quantidade da glicose e do etanol produzido foi determinada por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), Cromatógrafo Shimadzu® LC-10 Series Avp, equipado com uma bomba (LC-10AD), degaseificador (DGU-14A), detector de refração (RID-10A), forno de coluna (CTO-10A), injetor manual Rheodyne (loop de 20 µL) e integrador CLASS (LC-10A), coluna Phenomenex Rezex ROA - Organic Acid H+ (300 x 7,8 mm) com conexão direta ao cartucho de segurança Phenomenex Carbo-H (4 x 3 mm) preenchida com material semelhante ao da coluna principal.

A eluição foi realizada por método isocrático em um tempo de 15 minutos. As amostras foram previamente centrifugadas a 2500 rpm por 10 min. a 20 °C, em seguida foram filtradas em filtros de seringa de fluoreto de polivinilideno (PVDF) hidrofílico com 0,22 µm de abertura de poro. O experimento fermentativo adotou o esquema de delineamento inteiramente casualizado, onde o teor de etanol

produzido a partir da fermentação foi submetido ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e posteriormente à análise de variância pelo teste F, seguido por teste de Tukey para verificação dos pontos significativamente diferentes e análise de regressão ao nível de significância de  $p < 0,05$ , utilizando-se o *software* estatístico *Sisvar*. Os gráficos foram gerados a partir do *software Microsoft Excel*.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 EFEITOS DO PRÉ-TRATAMENTO

A análise das fibras revelou que o pseudocaule e a massa foliar têm um valor muito parecido para FDN (como descrito na Tabela 1) em comparação com outras partes morfológicas de banana, como cascas e haste da flor (PALÁCIOS *et al.*, 2017; VILLA-VÉLEZ *et al.*, 2015). O FDN também foi semelhante ao valor obtido no bagaço de cana-de-açúcar, demonstrando o potencial de resíduos da bananeira como fonte de fibra (PEREIRA *et al.*, 2013). A metodologia utilizada para o pré-tratamento gerou diferenças na hemicelulose solubilizada entre os materiais, criando um contraste entre as quantidades de fibras insolúveis recuperadas (Tabela 1).

**Tabela 1.** Porcentagem sobre o material insolúvel obtido após pré-tratamento, valor sobre o FDN obtido pelas análises preliminares e perda por solubilização da hemicelulose obtido através da diferença entre o valor pós pré-tratamento e o FDN para as amostras MF e PC

Amostras	Material insolúvel (%) <sup>*</sup>	FDN (%) <sup>*</sup>	Hemicelulose solubilizada (%) <sup>*</sup>
MF	42	45,3	3,3
PC	19,6	40,6	21

<sup>\*</sup> Valores obtidos através de análises sobre base seca dos materiais.

De acordo com a Tabela 1, após o pré-tratamento ácido/básico, a amostra MF sofreu uma redução de 58% do seu peso inicial (150 g), resultando em 63g de material pré-tratado (42%), demonstrando que a fração de fibras insolúveis se

aproximou dos resultados encontrados para FDN (45,3%). Assim, a subtração direta da fração do material insolúvel com a fração FDN resultou uma perda de 3,3% de hemicelulose para MF. Esta perda ocorre devido ao pré-tratamento ácido, onde a hemicelulose é separada da celulose e é recuperada na forma de xilose, arabinose e outros monômeros, na fração aproximada de 80 a 90% de taxa de recuperação (CHENG *et al.*, 2008).

Para a amostra PC, o pré-tratamento combinado ácido/básico acarretou uma maior solubilização da hemicelulose em relação a MF (21%) e conseqüentemente uma maior perda de material (80,4% de seu peso inicial). De acordo com Santos *et al.* (2012), o pré-tratamento combinado não foi eficiente, devido a baixa recuperação de carboidratos. Gabhane *et al.* (2014) e Ingale, Joshi e Gupte (2014) obtiveram uma maior recuperação de fibras usando apenas o pré-tratamento alcalino neste substrato, o que sugere que o pré-tratamento ácido não foi necessário para o pseudocaulo.

### 3.2 HIDRÓLISE ENZIMÁTICA

De acordo com os resultados obtidos por análise de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), houve uma ligeira diferença entre a concentração de glicose para MF e PC, que foram listadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Concentração de glicose dos materiais via CLAE

	MF	PC
Glicose (g/L)	79,75	73,24
Ácido acético	NO*	NO*

\*: Não observado.

De acordo com a Tabela 2, ambas as amostras obtiveram altas quantidades de glicose, aproximando-se dos resultados obtidos por Pereira *et al.* (2013) usando forrageiras submetidas a hidrólise enzimática, e Wanderley *et al.* (2013), onde o rendimento de glicose foi avaliado em bagaço de cana-de-açúcar submetido a explosão de vapor combinado a um pré-tratamento alcalino e hidrólise enzimática. No entanto, ao analisar cada matéria-prima separadamente, pode-se ver que houve



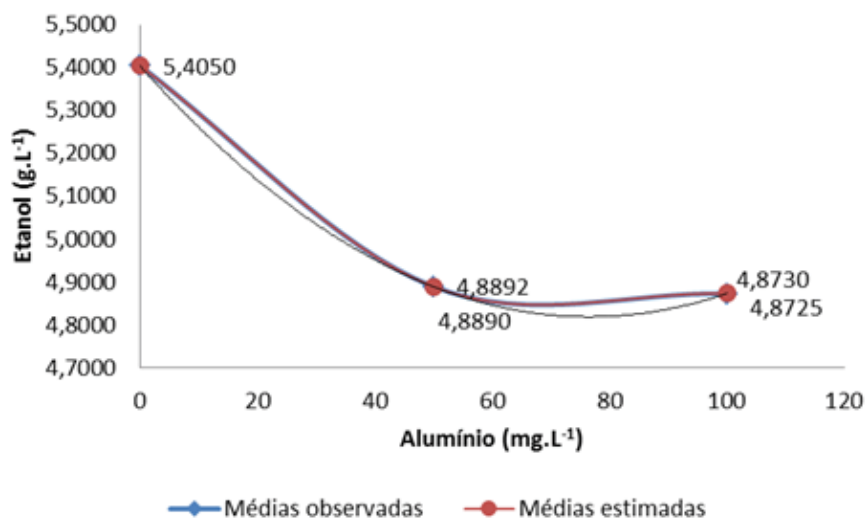
diferenças no rendimento da quantidade de matéria seca necessária para atingir essas concentrações.

Para a amostra MF, foram gastos unicamente 150 g de material seco, dando um total de 53,16% p/p de glicose produzida. Já para PC, foram gastos 290 g de material (193% a mais de matéria-prima) para a produção de quase a mesma quantidade de glicose, resultando um total de 25% p/p de rendimento de glicose sobre a matéria seca utilizada. Essa baixa taxa de recuperação se deve principalmente à ineficiência do pré-tratamento sobre essa matéria-prima, pois como já foi descrito neste trabalho, ocorreram perdas do material devido à solubilização da hemicelulose durante o pré-tratamento.

### 3.3 EFEITO DOS MINERAIS NA FERMENTAÇÃO

A análise de variância não apresentou diferenças significativas em nenhum dos fatores avaliados (magnésio, alumínio e magnésio x alumínio) na produção de etanol do substrato PC. Portanto, no substrato PC, a adição de minerais não teve influência significativa na produção de etanol.

No entanto, no substrato de LM fermentado, a análise de variância identificou efeitos significativos em tratamentos individuais e na interação de minerais na produção de etanol (Figuras 1, 2 e 3).

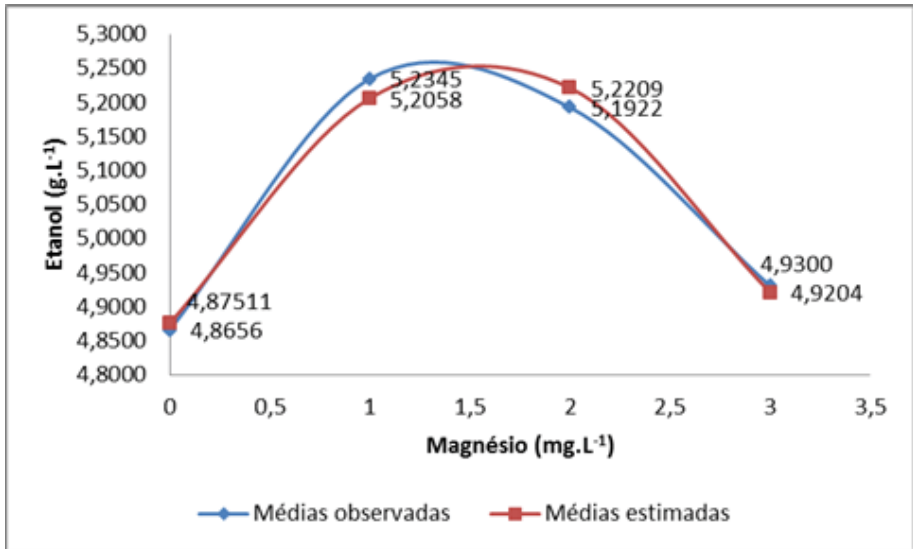


**Figura 1.** Gráfico elaborado sobre a regressão da fonte de variação “Alumínio” em relação à produção de etanol em g.L<sup>-1</sup>.

Para a fonte de variação de alumínio, a análise de regressão detectou o efeito inibitório do alumínio em leveduras, reduzindo a produção de etanol significativamente à medida que a quantidade de alumínio no material aumentou. Isso pode ser explicado pela liberação de íons  $Al^{3+}$ , cátions tóxicos para as leveduras, entre outros organismos (GUIDA *et al.*, 1991; ZEL *et al.*, 1993). No trabalho de Tun *et al.* (2013), os íons  $Al^{3+}$  foram moderadamente tóxicos para as células das leveduras na concentração de 21,5 mg.L<sup>-1</sup> enquanto Oliveira *et al.* (2009) obtiveram uma inibição na atividade das leveduras de 72% na concentração de 54 mg.L<sup>-1</sup>.

De acordo com a Figura 1, pela análise dos meios, as médias de produção de etanol caíram de 5,40 para 4,87 g.L<sup>-1</sup>, uma redução de cerca de 10% na produção de etanol. Esse valor em uma escala macro (nível industrial) pode significar uma perda econômica altamente significativa.

Um grande aumento na produção de etanol entre 1 e 2 mg.L<sup>-1</sup>, seguido de um decaimento em 3 mg.L<sup>-1</sup>, pode ser observado na fonte de variação de magnésio, mostrada na Figura 2.

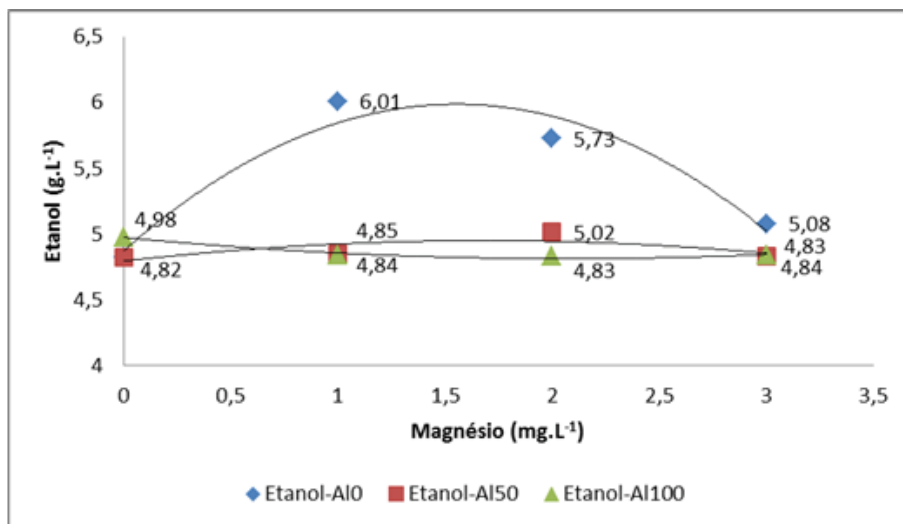


**Figura 2.** Gráfico elaborado sobre a regressão da fonte de variação “Magnésio” em relação à produção de etanol em g.L<sup>-1</sup>.

Isto significa que o mineral foi capaz de auxiliar a levedura, proporcionando suporte nutricional e aumentando significativamente o teor de etanol produzido neste substrato, de 4,87 g.L<sup>-1</sup> obtido no nível 0, até o ponto máximo de 5,23 g.L<sup>-1</sup> obtido na concentração nível 1, um aumento de 7% em relação ao material sem adição de magnésio.

No entanto, à medida que a concentração aumentou, ocorreu uma saturação do mineral nas leveduras, resultando um efeito inverso, reduzindo a produção de etanol de 5,23 g.L<sup>-1</sup> no ponto ótimo para 4,93 g.L<sup>-1</sup> no nível 3, redução de cerca de 6%. Portanto, mesmo que o mineral seja altamente essencial para as leveduras, não são toleradas altas concentrações do mesmo, podendo prejudicar a mesma na função fermentativa.

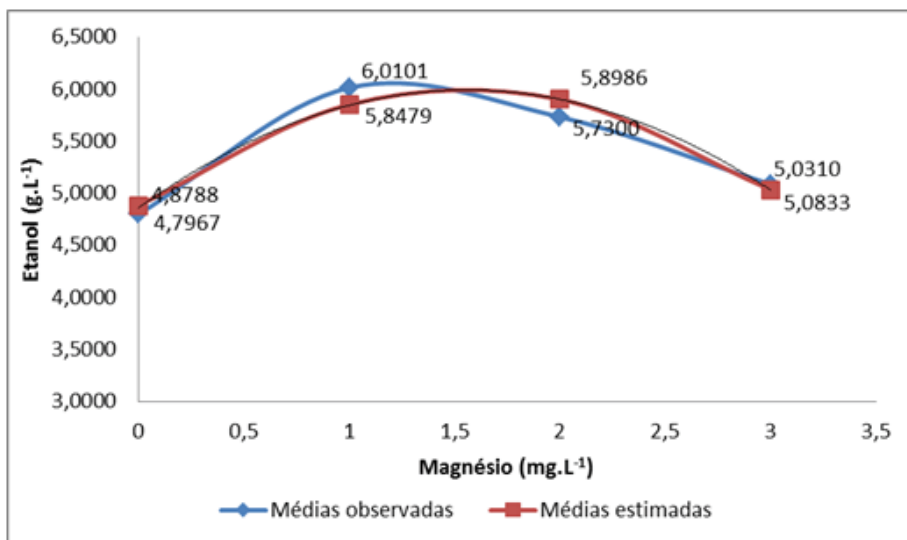
Em relação à interação entre os fatores, a interação ocorreu apenas dentro do nível 0 de alumínio para todas as concentrações de magnésio, conforme o demonstrado pela Figura 3.



**Figura 3.** Gráfico elaborado sobre a interação entre a fonte de variação “Magnésio” dentro do nível 0 da fonte de variação “Alumínio” em relação à produção de etanol em g.L<sup>-1</sup>, obtidos através do teste de Tukey com  $p < 0,05$ .

Portanto, o uso de magnésio aumentou a produtividade da levedura, aumentando a concentração de etanol no substrato durante a ausência de alumínio na solução. Com a adição de alumínio, os efeitos tóxicos causados pelo mineral levaram a um quadro de inibição na levedura.

Para realizar a análise de regressão na interação, os fatores foram desdobrados e, com base no teste de médias, apenas o desdobramento dos níveis de magnésio sobre o nível 0 de alumínio foi escolhido, pois foi onde a maior diferença ocorreu entre as médias. As médias de interação geraram o gráfico mostrado na Figura 4.



**Figura 4.** Médias dos diferentes níveis de interação de magnésio no nível de alumínio 0 pela análise de regressão.

Através da observação da Figura 4 é possível identificar o ponto ótimo da concentração de magnésio em 1,5 mg.L<sup>-1</sup>. A partir desses dados, a equação de regressão pode ser usada para estimar a maior produtividade teórica do etanol obtida pela adição de magnésio na solução. A equação gerada foi:  $y = -0.465x^2 + 1.453x + 4.853$  (onde  $y$  é o rendimento de etanol em g.L<sup>-1</sup> e  $x$  é a concentração de magnésio em mg.L<sup>-1</sup>), com  $R^2$  de 0.932. Pela equação, a concentração ideal de etanol foi de 6,32 g.L<sup>-1</sup>, um aumento de 24% em relação ao material sem a adição de magnésio. Este aumento de produtividade só é possível na ausência de altas concentrações de alumínio, o que justifica o controle dos níveis de alumínio em mostos fermentativos. Neste estudo foi possível identificar a concentração ideal de magnésio a ser utilizada e o ganho que pode ser obtido a partir da sua utilização, um trabalho futuro deve estudar mais o assunto para verificar sua viabilidade econômica em grande escala.

## 4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, foi possível verificar que os materiais (pseudocaule e massa foliar) apresentam potencial de exploração como matéria-prima lignocelulósica para a produção de glicose e etanol. A massa foliar obteve um rendimento geral maior em relação ao pseudocaule, no entanto, a metodologia adotada neste trabalho não conseguiu extrair todo o potencial do pseudocaule e, como é a matéria-prima mais abundante da cultura da banana, carece de estudos sobre o estabelecimento de uma metodologia mais eficiente para a produção de glicose, com foco exclusivo no pré-tratamento, sendo a etapa em que ocorreram as maiores perdas do material.

Em relação à adição de minerais no mosto fermentativo, o alumínio gerou uma redução de cerca de 10% na produção de etanol, reduzindo a quantidade produzida de 5,40 a 4,87 g.L<sup>-1</sup> de etanol, enquanto o magnésio gerou um incremento teórico na produção de etanol de 24% na MF, podendo aumentar a produtividade de 4,87 a 6,32 g.L<sup>-1</sup>. No entanto, na interação entre os dois minerais, o magnésio não conseguiu suprimir os efeitos tóxicos causados pelo alumínio nas leveduras.

Portanto, os resultados apresentados aqui indicam que os níveis de alumínio devem ser controlados nos mostos fermentativos, a fim de evitar possíveis perdas causadas por ele. Uma análise de viabilidade sobre o uso de magnésio em grande escala também é recomendada, com o objetivo de verificar os resultados aqui demonstrados em nível industrial.

## REFERÊNCIAS

- ARANHA, A. D. **Efeitos do Alumínio Sobre a fermentação alcoólica**. 2002. 102f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- ARIFIN, Y.; TANUDJAJA, E.; DIMYATI, A.; PINONTOAN, R. A Second Generation Biofuel from Cellulosic Agricultural By-product Fermentation Using Clostridium Species for Electricity Generation. Conference and Exhibition Indonesia Renewable Energy & Energy Conservation - Indonesia EBTKE CONEX 2013. Energy Procedia. 2014. p. 310-315.
- BASSO, L. C.; BASSO, T. O.; ROCHA, S. N. Ethanol production in Brazil: the

industrial process and its impact on yeast fermentation. *In*: BERNARDES, M. A. S. B(ed.). **Biofuel production-recent developments and prospects**. Rijeka: Intech, 2011. p. 85-100.

BATISTA, I. N. **Estimativa da produção potencial de etanol de diferentes espécies de Braquiárias**. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2016.

BELLO, R. H.; SOUZA, O.; SELLIN, N.; MEDEIROS, S. H. W.; MARANGONI, C. Effect of the microfiltration phase on pervaporation of ethanol produced from banana residues. *Comput. Aided Chem. Eng.*, v. 31, p. 820-824, 2012.

CHANDRASENA, G.; WALKER, G. M. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, 55, p. 24-29. 1997.

FAO - Food and Agriculture Organization. FAOSTAT: **Banana Production by Countries** 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> Acesso em: 05 dez. 2019.

FOY, C. D.; GERLOFF, G. C. Response of *Chlorella pyrenoidosa* to aluminum and low pH. **Journal Phycology**, v. 8, n. 2, p. 268-271, 1972.

GABHANE, J. *et al.* Pretreatment of banana agricultural waste for bio-ethanol production: Individual and interactive effects of acid and alkali pretreatments with autoclaving, microwave heating and ultrasonication. **Waste Management**, v. 34, n. 2, p. 498-503, 2014.

GUIDA, L. *et al.* Aluminum toxicity and binding to *Escherichia coli*. **Archives of Microbiology**, v. 156, n. 9, p. 507-512, 1991.

INGALE, S.; JOSHI, S. J.; GUPTA, A. Production of bioethanol using agricultural waste: banana pseudo stem. **Brazilian journal of microbiology: [publication of the Brazilian Society for Microbiology]**, v. 45, n. 3, p. 885-92, 2014.

JANG, J. *et al.* Optimization of saccharification and ethanol production by simultaneous saccharification and fermentation (SSF) from seaweed *Saccharina japonica*. **Bioprocess Biosyst. Eng.**, v. 35, n. 1-2, p. 11-18, 2012.

JOHN, R. P. *et al.* Micro and macroalgal biomass: A renewable source for bioethanol. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 1, p. 186-193, 2011.

LEWANDROWSKI, J.; ROSENFELD, J.; PAPE, D.; HENDRICKSON, T.; JAGLO, K.; MOFFROID, K. The greenhouse gas benefits of corn ethanol - assessing recent evidence. **Biofuels**, 2019. DOI: 10.1080/17597269.2018.1546488

KARAMUSHKA, V. I.; GADD, G. M. Influence of copper on proton efflux from *Saccharomyces cerevisiae* and the protective effect of calcium and magnesium. **FEMS Microbiology Letters**, v. 122, p. 33-38, 1994.

LALUCE, C. *et al.* Optimization of temperature, sugar concentration, and inoculum size to maximize ethanol production without significant decrease in yeast cell viability. **Applied Microbiology and Biotechnology**. Heidelberg. v. 83, p. 627-637, 2009.

MEINITA, M. D. N.; HONG, Y.; JEONG, G.; Comparison of sulfuric acid and hydrochloric acids as catalysts in hydrolysis of *Kappaphycus alvarezii* (cottonii). **Bioprocess Biosyst. Eng.** v. 35, n. 1-2, p. 123-128, 2011.

OLIVEIRA, R. P. S. *et al.* Use of Sugar Cane Vinasse to Mitigate Aluminum Toxicity to *Saccharomyces cerevisiae*. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 57, p. 488-494, 2009.

PALÁCIOS, S. *et al.* Comparison of physicochemical pretreatments of banana peels or bioethanol production. **Food Sci Biotechnol.** v. 26, n. 4, p. 993-1001, 2017.

PEREIRA, D. G. S. **Rendimentos da hidrólise enzimática e fermentação alcoólica de capim-elefante, capim-andropogon, capim-mombaça e bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol de segunda geração.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 2013.

REDDY, C. V. K.; SREERAMULU, D.; RAGHUNATH, M. Antioxidant activity of fresh and dry fruits commonly consumed in India. **Food Research International**, v. 43, p. 285-288, 2010.

SANTOS, A. F. *et al.* Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**. n. 5, p. 1004-1012, 2012.

SCHREIER, B.; HOCKER, B. Engineering the enolase magnesium II binding site: implications for its evolution. **Biochemistry**, v. 49, p. 7582-7589, 2010.



SHARMA, N. *et al.* Optimization of fermentation parameters for production of ethanol from Kinnow waste and banana peels by simultaneous saccharification and fermentation. **Indian J. Microbiol.**, v. 47, p. 310-316, 2007.

SOUZA, R. B. *et al.* Mineral Composition of the Sugarcane Juice and its Influence on the Ethanol Fermentation. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 175, n. 1, p. 209-222, 2014b.

SOUZA, E. L.; LIEBLB, G. F.; MARANGONIA, C.; SELLINA, N.; MONTAGNOLIA, M. S.; SOUZA, O. Bioethanol from fresh and dried banana plant pseudostem. **Chemical engineering transactions**, v. 38, 2014a.

STEHLIK-THOMAS, V. *et al.* Zinc, Copper and Manganese Enrichment in Yeast *Saccharomyces cerevisiae*. **Food Technology and Biotechnology**, v. 42, p. 115-120, 2004.

TROFIMOVA, Y.; WALKER, G.; RAPOPORT, A. Anhydrobiosis in yeast: influence of calcium and magnesium ions on yeast resistance to dehydration-rehydration. **FEMS Microbiol Lett**, v. 308, p. 55-61, 2010.

TUN, N. M. *et al.* Disulfide stress-induced aluminium toxicity: molecular insights through genome-wide screening of *Saccharomyces cerevisiae*. **Metallomics**, v. 5, p. 1068-1075, 2013.

VAN SOEST, P. J. Nutritional ecology of the ruminant. **Ithaca**: Cornell University, 1994. 476p.

VILLA-VÉLEZ, H. A. *et al.* Study of the specific heat capacity of biomass from banana waste for application in the second generation ethanol industry. **American Institute of Chemical Engineers Environ Prog.** v. 34, p. 1221-1228, 2015.

WANDERLEY, M. C. de A. *et al.* Increase in ethanol production from sugarcane bagasse based on combined pretreatments and fed-batch enzymatic hydrolysis. **Bioresource Technology**, v. 128, p. 448-453, 2013.

ZEL, J.; SVETEK, J.; CRNE, H. Effects of aluminum on membrane fluidity of the mycorrhizal fungus *Amanita muscaria*. **Physiology Plantarum**, v. 89, 3, p. 172-176, 1993.

*Recebido em: 02/04/2018/*

*Aceito em: 03/03/2020*