

## PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DO FARELO DE ARROZ POR HIDRÓLISE ENZIMÁTICA

**DIEGO BÁRBARA DE MORAES<sup>1</sup>; ADRIELE CRISTINA SANTOS<sup>1</sup>; ERICH COLLICCHIO<sup>1</sup>; LUCAS KOSHY NAOE<sup>2</sup>; KALLYANA MORAES CARVALHO DOMINICES<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>UFT/PPGA – Programa de Pós-Graduação em Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Palmas. Endereço: Avenida NS15, Quadra 109 Norte - Plano Diretor Norte. Palmas-TO, Brasil. CEP:77001-090 E-mail: diego.bmoraes@hotmail.com, sadrielle1@gmail.com, collicchio.e@gmail.com.

<sup>2</sup>UNITINS - Universidade Estadual do Tocantins, Campo de Ciências Agrárias – CCA. Endereço: Q. 108 Sul Alameda 11, 03 - Plano Diretor Sul. Palmas - TO, Brasil. CEP: 77020-122. E-mail: unitinsagro@gmail.com.

<sup>3</sup>IFTO - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Endereço: BR 153, KM 480 - Distrito Agroindustrial. Paraíso do Tocantins-TO, Brasil. CEP: 77600-000. E-mail: kallyanac@gmail.com.

**RESUMO:** O uso de biomassa para produção de etanol é bastante usada no Brasil. Material amiláceo, como por exemplo o arroz, é uma ótima opção pois apresenta alto rendimento de amido. O objetivo desse trabalho foi de avaliar a partir do farelo a produção de etanol a partir de diferentes produtos obtidos no beneficiamento do arroz, tendo o milho como referência, por meio de hidrólise enzimática. Foi realizada regressão entre às variações da concentração de glicose nos tratamentos em função do tempo, bem como da concentração de etanol nos tratamentos em função do tempo. O tratamento arroz em casca natural apresentou a menor concentração de etanol e também a menor eficiência na conversão. Todos os tratamentos foram estatisticamente diferentes, para a eficiência da reação, vale ressaltar que a maior eficiência foi a do arroz quebrado, seguida do arroz integral e arroz gigante. O tratamento arroz quebrado e arroz integral foram os que apresentaram as piores médias para concentração de etanol, porém o mesmo não ocorreu na conversão em etanol, onde o arroz quebrado não diferiu estatisticamente do arroz gigante.

**Palavras-chaves:** amido, BRS AG, etanol.

## ETHANOL PRODUCTION FROM RICE BRAN BY ENZYMATIC HYDROLYSIS

**ABSTRACT:** The use of biomass to produce ethanol is widely used in Brazil. Starch material, such as rice, is an excellent option because it presents high starch yield. The objective of this work was to evaluate the production of ethanol from rice bran using different products obtained in the processing of rice, with corn as reference, through enzymatic hydrolysis. Regression was performed between the variations of glucose concentration in the treatments as a function of time, as well as the ethanol concentration in the treatments as a function of time. The natural rice in husk treatment presented the lowest ethanol concentration and also the lowest conversion efficiency. All treatments were statistically different for reaction efficiency, it is worth noting that broken rice had the highest efficiency, followed by brown rice and giant rice. The treatment broken rice and brown rice were the ones that presented the worst averages for ethanol concentration, but the same did not occur in ethanol conversion, where broken rice did not differ statistically from giant rice.

**Keywords:** starch, BRS AG, ethanol.

## 1 INTRODUÇÃO

Os biocombustíveis oferecem os meios para abrandar e mitigar mudanças climáticas, diminuindo as emissões de CO<sub>2</sub>, reduzindo a dependência das reservas de petróleo em

rápido esgotamento e também benefícios socioeconômicos para as comunidades rurais. Eles são indiscutivelmente as fontes de energia renováveis mais promissoras. Os biocombustíveis líquidos, incluindo bioetanol e biodiesel, podem ser misturados com

gasolina e diesel e atender ao setor de transporte que consome mais de 50% da energia (SHARMA; NANDAL; ARORA, 2019).

Nesse contexto, o bioetanol se destaca como fonte renovável pelo uso da biomassa como matéria-prima. É considerado um combustível líquido renovável e sustentável que oferece várias vantagens sobre os combustíveis fósseis convencionais, como maior número de octanas (108), limites mais amplos de inflamabilidade, maiores velocidades de chama e aumento da temperatura de vaporização (ARENAS-CÁRDENAS et al., 2017).

O etanol pode ser produzido a partir de qualquer polissacarídeo que contenha açúcar ou amido, mesmo quando estruturado em moléculas maiores. Matérias-primas à base de açúcar, como cana-de-açúcar, são comumente usadas no Brasil e em outros países e representam a biomassa mais amplamente utilizada para a produção de etanol (GUMIENNA et al., 2016; MORAES; BACCHI; CALDARELLI, 2016).

Os materiais amiláceos como milho, mandioca, batata doce, batata, trigo e arroz também podem ser matérias-primas usadas para produzir etanol com alto rendimento. E o arroz se torna uma excelente fonte de energia devido à sua alta concentração de amido, tornando então, um potencial para a produção de bioetanol (SCHEINADER et al., 2018).

Em específico a cultivar de arroz gigante BRS AG é a primeira cultivar de arroz irrigado lançado como matéria-prima para produção de álcool de cereais e também para alimentação animal. Essa cultivar tem produtividade de 10 ton/ha<sup>-1</sup>, e apresenta 52 g de peso médio de mil grãos enquanto maioria das cultivares de arroz irrigado apresenta peso médio de 25,6 g (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2017)

Essa característica é explicada pelas elevadas dimensões da cariopse, isto é, por apresentar grãos muito grandes e extremamente farináceos, diferindo do padrão longo-fino requerido pelo mercado consumidor. Surge então, como uma excelente fonte para matéria-prima para produção de

álcool de cereais (etanol) (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2017).

A produção de etanol combustível a partir de matérias-primas amiláceas requer que uma etapa de hidrólise do amido à açúcares monoméricos fermentáveis anteceda a fermentação. A hidrólise pode ser feita por processo químico ou biológico. A escolha em realizar a hidrólise do amido quimicamente, com a utilização de ácidos inorgânicos diluídos, ou biologicamente, com emprego de enzimas, é realizada levando-se em consideração vantagens e desvantagens associadas a cada processo (ALMEIDA, 2017).

Para a fermentação alcoólica, o microrganismo mais popular usado é o fermento *Saccharomyces cerevisiae*, que converte rapidamente açúcares em álcool, ácidos orgânicos e dióxido de carbono e é tolerante a altas concentrações de etanol (MOHD AZHAR et al., 2017; MOREIRA et al., 2019). Além disso, a suplementação de nutrientes no estágio de fermentação otimiza o crescimento de leveduras e aumenta a produção de etanol (ZABED et al., 2017; MOREIRA et al., 2019).

Assim, o objetivo desse trabalho foi de avaliar a produção de etanol da fração amilácea utilizando como matérias-primas arroz comercial e a cultivar BRS AG, a partir de diferentes produtos obtidos no beneficiamento, tendo o milho como referência, por meio de hidrólise enzimática.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para esse ensaio foram utilizadas duas cultivares de arroz, a BRS Sertaneja e BRS AG Gigante, cedidas pela Fundação Universidade do Tocantins (Unitins) via o Centro Agroambiental da Várzea (CPAV) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Arroz e Feijão). Foi utilizado o milho (material 15M) como referência, cedido pelo Laboratório de Pesquisas Agropecuárias da Universidade Federal do Tocantins (UFT) – Campus de Palmas.

O delineamento experimental utilizado foi o Inteiramente Casualizado (DIC), composto por cinco tratamentos: milho (15M),

arroz integral (BRS Sertaneja), arroz em casca natural (BRS Sertaneja), arroz quebrado (BRS Sertaneja) e arroz gigante (BRS AG Gigante) e com três repetições. Sendo avaliadas as variações da concentração de glicose e de etanol em função do tempo. Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias dos resultados comparados pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade  $P \leq 0,05$ , por meio do programa SISVAR versão 5.6.

Para a cultivar BRS Sertaneja foram avaliadas as seguintes frações: arroz em casca natural, arroz integral, arroz quebrado. Já para a cultivar BRS AG Gigante foi avaliado apenas a fração Arroz integral, por ter um tamanho de grão, duas vezes maior do que o tamanho da outra cultivar, uma vez que foi impossibilitado a alteração da regulação do equipamento que faz o beneficiamento.

O beneficiamento das amostras foi realizado por meio do equipamento de descascamento e brunição em Proveedor de Arroz (Modelo MT, marca Suzuki), da Secretaria de Agricultura e Pecuária do Estado do Tocantins - SEAGRO. Após processado pesou-se as diferentes frações, a fim de obter o rendimento (grão sem casca) de cada cultivar. Para pesagem das amostras foi utilizado uma balança analítica (Modelo AY 220; Marca Shimadzu).

Após o processo de limpeza, separação e pesagem dos grãos de arroz foi realizado a moagem das diferentes matérias-primas. Os grãos de milho utilizados passaram apenas pelo processo de moagem. Para essa etapa foi utilizado um moinho de facas (modelo SL 31, marca Solab), com peneira de 10 Mesh Tyler.

Ao final do processo de moagem, foi obtida uma farinha com partículas menores que 1,0mm de diâmetro para todos os materiais. Após processadas, as amostras foram devidamente identificadas e guardadas em embalagem de papel kraft, sendo acondicionadas em geladeira, até o momento das análises.

Para a etapa de hidrólise enzimática, foram utilizadas duas enzimas amilolíticas, uma endoamilase ( $\alpha$ -1-4) e uma exoamilase ( $\alpha$ -1-4 e  $\alpha$ -1-6). A endoamilase foi a  $\alpha$ -amilase termoestável Liquozyme Supra 2.2X, produzida por cepas de *Bacillus licheniformis*,

que possui atividade enzimática de 300KNU/g e a exoglucosidade foi a AMG 300L, produzida por cepas de *Aspergillus niger*, cuja atividade enzimática é de 300AGU/mL. As duas enzimas utilizadas neste trabalho foram cedidas pela Novozyme do Brasil S.A.

Os experimentos para obtenção e análise do etanol foram conduzidos na área do Centro Tecnológico Agroindustrial e Ambiental da Universidade Federal do Tocantins (UFT) no Campus de Palmas – TO, no Laboratório de Sistemas de Produção de Energia, a partir de Fontes Renováveis (LASPER) e no Laboratório de Instrumentação Científica (LABIC). O bioprocessamento desenvolvido para produção de etanol a partir de arroz e milho foi realizado atendendo ao protocolo de obtenção de etanol já utilizado no LASPER, adaptado da metodologia de Cereda (1996). As amostras de arroz e milho moídas foram suspensas em água destilada na proporção de 200 g/L, sendo que foram pesados 20 gramas de amostra para cada material em erlenmeyers de 250 ml e acrescentado 100 ml de água destilada. Em seguida o pH foi ajustado para uma faixa entre 5,0 – 6,0 e a solução foi aquecida gradualmente até atingir temperatura de 60°C.

Depois de estabilizada a temperatura, foi adicionada a enzima liquidificante  $\alpha$ -amilase na concentração de 30  $\mu$ l/g de farinha. A partir desse momento a temperatura foi elevada a 90°C gradualmente e mantida por 2 horas para a ação da enzima. Após a ação enzimática, o meio foi resfriado até atingir 60°C. Neste momento o pH foi ajustado para uma faixa de 4,5 – 5,0 e a enzima sacarificante amiloglucosidade foi adicionada na concentração de 40  $\mu$ l/g de farinha. Para esta etapa, o tempo de atuação da enzima foi de 3 horas.

Ao final do processo, foram coletados os hidrolisados, os quais foram acondicionados em eppendorfs e centrifugados em centrífuga Excelsa II (marca Fanem, modelo 206 BL), a 2500rpm por 10 minutos. Posteriormente os hidrolisados foram filtrados utilizando-se membranas PVDF hidrofílica com poro de 0,45 $\mu$ m, para determinação dos açúcares redutores.

Para realização da etapa de fermentação, o mosto hidrolisado foi resfriado a 30°C e inoculou-se o fermento comercial de panificação (Marca Fleischmann), à base de *Saccharomyces cerevisiae* na concentração de 5%, permitindo assim, o desenvolvimento deste e conseqüentemente a fermentação. Esta etapa foi conduzida em erlenmeyer de 250 ml com aproximadamente 100 ml de meio hidrolisado. Após inoculado na concentração supracitada, o mosto foi incubado em shaker de agitação orbital (Modelo Cienlab – CE 270/D) durante 24 horas. O processo ocorreu em temperatura ajustada para 30° C e pH 5,0 e a inoculação correspondeu ao tempo zero da fermentação. Foram coletadas alíquotas do mosto no período de 3 em 3 horas, até a décima segunda hora, o equivalente a quatro coletas, finalizando com a quinta coleta da amostra no final de 24 horas de fermentação.

Estas alíquotas foram acondicionadas em eppendorfs e centrifugadas em centrífuga Excelsa II (marca Fanem, modelo 206 BL), a 2500 rpm por 10 minutos, em seguida foram filtradas utilizando membranas PVDF hidrofílica com poro de 0,45 µm para determinação dos açúcares redutores e concentrações de etanol.

A determinação da glicose foi realizada por cromatografia líquida de alta eficiência - CLAE. A curva de calibração para a glicose foi determinada por meio do preparo de onze pontos variando as concentrações nos intervalos de 0,5 a 20 g/L. Foi utilizado para o preparo dos padrões Glicose (Marca: Sigma-Aldrich, Pureza ≥ 99%). Para cada amostra analisada obteve um pico que após a integração determinou-se a área, e com esta área foi possível calcular a concentração de glicose por meio da equação do 1º grau na curva de calibração da concentração de glicose.

A equação da curva de calibração da concentração de glicose, com o respectivo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtida neste trabalho está apresentada a seguir:

$$y = 2E-05x + 0,4101 \quad (1)$$
$$R^2 = 0,9986$$

Para determinação da concentração de glicose foi realizado através de um cromatógrafo líquido de alta eficiência (Marca Shimadzu – LC-10 Series Avp; Desgaseificador: DGU-14A, Integrador: CLASS LC-10) com eluição isocrática pelo bombeamento de uma fase móvel (Composição: 5 mM de ácido sulfúrico em água ultrapura – destilada e deionizada). O fluxo do eluente foi de 0,6 mL/min, a 30°C, com corrida de tempo total de 25 minutos. A detecção foi realizada em detector de índice de refração (Shimadzu, modelo RID-10A).

Uma alíquota de 20,0 µl da amostra foi injetada manualmente (injetor Rheodyne - iL malha 20) e permeada por uma coluna Phenomenex Rezex ROA-Organic Acid H+ (300 x 7,8 mm) com conexão direta a Cartucho de segurança Phenomenex Carbo-H (4 x 3 mm) preenchida com material semelhante ao da coluna principal. A partir dos cromatogramas foi possível identificar as concentrações de glicose.

A determinação do etanol foi realizada por cromatografia líquida de alta eficiência – CLAE. A curva de calibração para o etanol foi determinada por meio do preparo de oito pontos variando as concentrações nos intervalos de 0,055 a 15 g/L. Foi utilizado para o preparo dos padrões Alcool Etilico (Marca: VETEC, Pureza: 95). Para cada ponto foi gerado um pico no cromatograma, que para fins de cálculo foi realizado a integração desse pico e obtida sua área. Logo os oitos padrões obtiveram suas respectivas áreas onde pode-se obter uma equação do 1º grau a fim de se calcular as concentrações de etanol para as amostras, contudo cada amostra analisada obteve um pico que após a integração determinou-se a área, e com esta área foi possível calcular a concentração de etanol por meio da equação do 1º grau na curva de calibração do etanol.

Essa equação da curva de calibração da concentração de etanol, com o respectivo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtida neste trabalho está apresentada a seguir:

$$y = 8E-06x - 0,1062 \quad (2)$$
$$R^2 = 0,9985$$

As condições para realização das análises para a determinação da concentração de etanol foram às mesmas utilizadas para a determinação da concentração de glicose.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o parâmetro concentração de glicose, pode-se observar que houve diferença estatística significativa ( $p \geq 0,05$ ). Na Tabela 1 estão representadas as médias das

concentrações de glicose para os diferentes tratamentos estudados. Observa-se que as concentrações encontradas variaram de 99,70 g/L a 149,30 g/L. Caldeirão et al. (2015) obtiveram em seu estudo com arroz quebrado, a concentração de glicose de 164 g/L, valor superior ao encontrado nesse trabalho. O milho utilizado como referência apresentou a segunda maior concentração de glicose com 142,41 g/L.

**Tabela 1.** Teste de média das concentrações de glicose (g/L) nos tratamentos.

Tratamentos	Médias
Milho	142,41 d
Arroz integral	112,19 b
Arroz em casca natural	131,23 c
Arroz quebrado	99,70 a
Arroz gigante	149,30 e

Letras iguais não diferem a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

**Fonte:** Moraes, Bacchi e Caldarelli (2021)

Em trabalho realizado por Fathoni et al. (2020), usando 5 genótipos de mandioca, obtiveram concentrações de glicose inferiores ao obtido nesse trabalho. Mostrando o potencial do grão de arroz, onde independentemente da forma de beneficiamento os resultados se sobressaíram aos da cultura da mandioca.

Conforme tabela 1, a maior concentração de glicose foi observada para o tratamento arroz gigante (149,30 g/L), o que já era esperado, pelo fato de ter alto teor de amido em sua composição (em torno de 90%), conforme resultados obtidos no trabalho de Magalhães Júnior et al. (2017), onde utilizou as enzimas alfa-amilase (dextrinizante) e amiloglucosidase (sacarificação) no processo de hidrólise e fermentação de etanol do arroz BRS AG. Porém no trabalho de Almeida (2017), a concentração de glicose obtida

através da cromatografia de alta eficiência, o arroz gigante foi semelhante ao do arroz comercial (BRS Pampa), com valor de 130 g/L.

Vale ressaltar que a cultivar BRS AG Gigante foi lançada em 2015 pela Embrapa, com o intuito de ser utilizada para fins de alimentação animal e produção de etanol, apresentando características diferentes dos materiais já existentes e estudados, uma vez que apresenta maior concentração de amido em relação às cultivares comerciais já existentes.

Na Tabela 2 estão representadas as médias das concentrações de etanol para os diferentes tratamentos estudados, variando de 32,38 a 48,21 g/L, com uma amplitude de 15,83 g/L. Pode-se observar que houve diferença estatística significativa ( $p \geq 0,05$ ), entre os tratamentos analisados.

**Tabela 2.** Teste de média para as concentrações de etanol (g/L) nos tratamentos e a eficiência na conversão de glicose em etanol.

Tratamentos	Médias
Milho	41,18 b
Arroz integral	42,32 b
Arroz em casca natural	32,38 c
Arroz quebrado	44,73 ab
Arroz gigante	48,21 a

Letras iguais não diferem a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Fonte: Moraes, Bacchi e Caldarelli (2021)

Destaca-se que os melhores resultados foram obtidos pelos tratamentos arroz gigante, com uma concentração de 48,21 g/L, e arroz quebrado (44,73 g/L) respectivamente, os quais não diferiram estatisticamente. E o tratamento arroz em casca natural foi o que apresentou a menor concentração de etanol, 32,38 g/L.

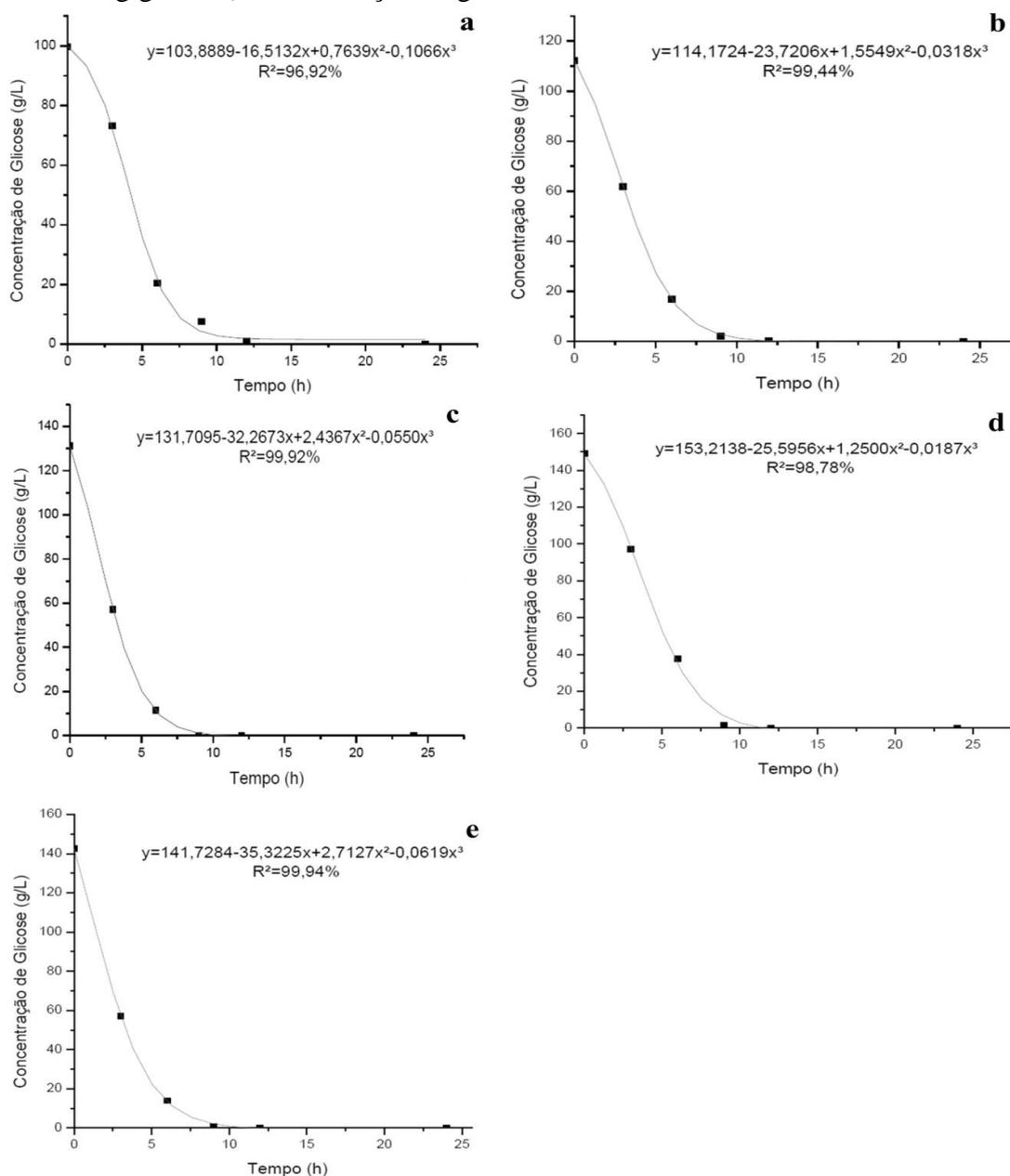
Vale ressaltar que o tratamento arroz quebrado apresentou alta conversão de glicose em etanol, pois como pode-se observar na Tabela 2, esse tratamento apresentava média de apenas 99,70 g/L de glicose, sendo este o menor valor, e sua conversão em etanol atingiu a maior média dos tratamentos com 44,73 g/L juntamente com arroz gigante. Correa (2015), encontrou valor bem próximo para concentração de etanol, a partir de grãos quebrados de arroz (44 g/L de etanol), logo pode-se afirmar que a fermentação foi satisfatória.

No que se refere ao comportamento da concentração de glicose em função do tempo para todos os tratamentos, foi verificado que todos foram semelhantes. Durante a

fermentação, a glicose, foi consumida por leveduras para crescimento e produção de etanol. A glicose foi consumida toda em aproximadamente 10 h (figura 1) para quase todos os tratamentos, quando concentração do etanol atingiu valor máximo (figura 2). Somente o arroz quebrado e arroz gigante que teve a glicose consumida toda em 12 h de fermentação.

Para o modelo em estudo, o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi superior em todos os casos a 96%. Desse modo à medida que se aumenta o tempo, há uma diminuição da concentração de glicose até a mesma ser toda convertida. Para o milho nota-se que as três primeiras horas há um consumo mais acentuado de glicose, quando comparado ao arroz gigante esse mesmo consumo ocorre em 5 h de fermentação (figura 1). Em relação ao arroz integral e o arroz em casca natural apresentam comportamento semelhante ao do milho tanto para o valor máximo de consumo da glicose, quanto para o tempo de conversão para etanol.

**Figura 1.** Variações da concentração de glicose nos tratamentos em função do tempo. a) Concentração de glicose de arroz quebrado. b) Concentração de glicose de arroz integral. c) Concentração de glicose de arroz com casca. d) Concentração de glicose de arroz gigante. e) Concentração de glicose de milho.



**Fonte:** Moraes, Bacchi e Caldarelli (2021)

Já no trabalho de Hargono et al. (2019) relata que a concentração de enzimas e o tempo necessário para reduzir ao máximo a formação de açúcar fazem parte de questões cruciais na geração de etanol. Relatam ainda sobre o trabalho, que 12 h foi considerado o tempo para a hidrólise do amido de *Amorphophallus campanulatus* B, para atingir a máxima concentração redutora de açúcar. E a fermentação deste açúcar redutor usando 1 g L<sup>-1</sup>. *Saccharomyces cerevisiae* alcançou maior

produtividade de etanol às 48 h. E a concentração máxima de etanol foi alcançada após a fermentação durar 60 horas.

Na Figura 2 podemos observar que, à medida que aumenta o tempo de fermentação, ocorre o incremento da concentração de etanol para todos os tratamentos, contudo com médias distintas. Percebe-se que a partir de 10 horas de fermentação, todos os tratamentos atingem a máxima produção de etanol, ocorrendo à estabilização do processo.

Comparando ao trabalho de Almeida (2017), somente em 48 horas atingiu a máxima produção de etanol do arroz BRS Pampa e para arroz BRS AG gigante.

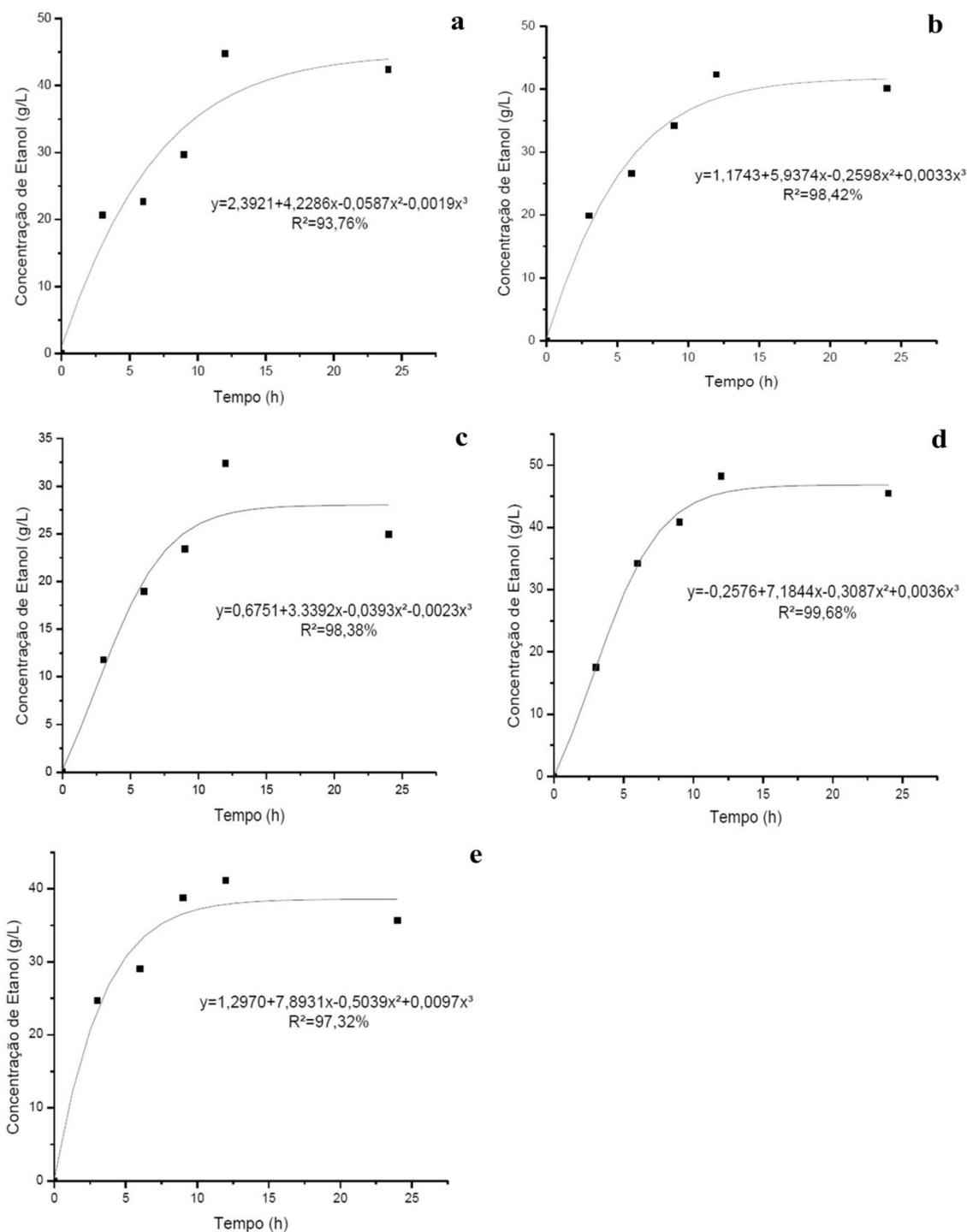
Pradyawong et al. (2018), compararam a concentração de etanol nas culturas: mandioca e milho pelo processo de sacarificação e fermentação simultâneas (SSF), onde observaram que estas fontes amiláceas apresentaram um bom consumo de glicose em 8 h de fermentação. Eles ainda compararam o milho em relação ao teor de amilose e glicose, onde amido de milho com alta amilose apresentou alta taxa de fermentação do que em concentrações de glicose.

Assim como na concentração da glicose, o etanol apresentou  $R^2$  acima de 93% para todos os tratamentos o que mostra uma alta correlação entre as variáveis. Desse modo à medida que se aumenta o tempo, há um aumento da concentração de etanol, até a mesma se tornar constante após 10 h de fermentação.

Estudos feitos por Scheinader et al. (2018), sobre a produção de etanol a partir de grãos quebrados de arroz, demonstrou que após 6 h de fermentação, a concentração de glicose atingiu quase zero do consumo total, e a formação da concentração máxima de etanol foi atingida às 16 h. Observando então que precisou de mais horas para atingir a concentração máxima do que encontrada neste trabalho, em relação ao arroz quebrado.

Diante disto, mesmo o arroz gigante apresentando uma eficiência baixa de conversão (32%), em comparação a dois tratamentos do BRS Sertaneja (arroz quebrado com 45% e arroz integral com 35%), foi observado que os valores obtidos da cultivar BRS AG Gigante foi superior tanto a da cultivar BRS Sertaneja como a do Milho (figura 2), tanto para concentração de glicose quanto para de etanol. Este comportamento já era esperado, sendo a quantidade de amido presente nessa cultivar mais elevada que nos demais materiais utilizados.

**Figura 2.** Variações da concentração de etanol nos tratamentos em função do tempo. a). Concentração de etanol de arroz quebrado. b) Concentração de etanol de arroz integral. c) Concentração de etanol de arroz com casca. d) Concentração de etanol de arroz gigante. e) Concentração de etanol de milho.



**Fonte:** Moraes, Bacchi e Caldarelli (2021)

Em relação a eficiência sobre conversão de etanol do milho (29%) e do arroz casca natural (25%), apresentaram as menores porcentagem, podendo ser explicado pela formação de outros compostos ao invés do

etanol durante o processo de fermentação, como por exemplo o glicerol.

Segundo Santos (2017), explica que esse fermento de panificação não só convertem os açúcares fermentescíveis em etanol, mais como também o glicerol, ácido acético,

succinato, entre outros. E que esses resultados podem ser explicados devido a uma possível baixa de atividade das enzimas ocasionando pelas variações morfológicas, dando potencialidade a produzir os subprodutos invés de potencializar o etanol e/ou a presença de substâncias inibidoras que ocasionam a redução da conversão de etanol.

Avaliando então, somente os tratamentos da cultivar BRS Sertaneja notou-se que o arroz quebrado e arroz integral obtiveram as piores médias de concentração de glicose, quando comparados aos demais tratamentos. E para o tratamento arroz em casca natural foi a maior média de glicose da cultivar BRS Sertaneja.

#### 4 CONCLUSÕES

O arroz gigante se destacou dos demais tratamentos tanto na concentração de glicose quanto na concentração de etanol, se sobressaindo até mesmo aos valores do milho. Conseguindo valores máximos de etanol com 12 h de fermentação. Portanto, concluiu-se que os resultados dos materiais de arroz foram um pouco superior a do milho, sendo tão eficiente quanto. Isso então justifica a utilização do arroz para produção de etanol. Entretanto para um melhor aproveitamento destes resíduos, no caso da cultura do arroz, o processo de hidrólise pode-se trabalhar com diferentes cargas de sólidos, tempo de hidrólise, temperatura e carga enzimática. Já na fermentação pode usar diferentes microrganismos, agitação e temperatura. Fatores estes que contribuirão para otimização do processo.

#### 5 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. C. **Estudos sobre o uso do arroz BRS AG para a produção de etanol**. 2017. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2017.

ARENAS-CÁRDENAS, P.; LÓPEZ-LÓPEZ, A.; MOELLER-CHÁVEZ, G. E.; LEÓN-BECERRIL, E. Current Pretreatments of Lignocellulosic Residues in the Production of Bioethanol. **Waste and Biomass Valorization**, Guadalajara, v. 8, n. 1, p. 161-181, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-016-9559-4>. Disponível em: <https://doi-org.ez6.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s12649-016-9559-4>. Acesso em: 17 jul. 2021.

CALDEIRÃO, L.; SPINOSA, W. A.; SANTOS JÚNIOR, V.; GALVAN, D.; BUSANELLO, M.; GOMEZ, R. J. H. C. Fermentação alcoólica de quirera de arroz enzimaticamente hidrolisada. *In*: SIMPÓSIO DE BIOQUÍMICA E BIOTECNOLOGIA, 5., 2015, Londrina. **Anais [...]**. São Paulo: Blucher, 2015. p. 373-373.

CEREDA, M. P. **Caracterização, usos e tratamentos de resíduos da industrialização da mandioca**. Botucatu: Centro de Raízes Tropicais, 1996. 56 p.

CORREA, F. F. B. **Desenvolvimento de um bioprocesso utilizando-se resíduos para produção de amilases por *Rhizopus oligosporus* e etanol por *Saccharomyces cerevisiae***. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2015.

FATHONI, A.; HARTATI, N. S.; WAHYUNI, H. F.; RAHMAN, N.; HARMOKO, R.; PERWITASARI, U. Characterization of cassava starch and its potential for fermentable sugar production. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, Tangerang, v. 439, n. 012024, p. 1-10, fev. 2020. DOI: <https://doi-org.ez6.periodicos.capes.gov.br/10.1088/1755->

1315/439/1/012024. Disponível em: <https://iopscience-iop.ez6.periodicos.capes.gov.br/article/10.1088/1755-1315/439/1/012024>. Acesso em: 20 jul. 2021

GUMIENNA, M.; SZWENGIEL, A.; SZCZEPAŃSKA-ALVAREZ, A.; SZAMBELAN, K.; LASIK-KURDYŚ, M.; CZARNECKI, Z.; SITARSKI, A. The impact of sugar beet varieties and cultivation conditions on ethanol productivity. **Biomass and Bioenergy**, Poznan, v. 85, n. 1, p. 228-234, fev. 2016.

HARGONO, H.; JOS, B.; KUMORO, A. C.; HARYANI, K. Low Temperature Enzymatic Hydrolysis (LTEH) and Fermentation for Bioethanol Generation from Suweg (*Amorphophallus campanulatus* B) Starch. **Journal of Physics Conference Series**, Semarang, v. 1295, n. 1, p. 1-7, set. 2019.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; FAGUNDES, P. R. R.; FRANCO, D. F.; MORAIS, O. P.; SIQUEIRA, F. G.; STRECK, E. A.; AGUIAR, G. A.; FACCHINELLO, P. H. K. BRS AG: first cultivar of irrigated rice used for alcohol production or animal feed. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. Viçosa, MG, v. 17, n. 1, p. 72-77, jan./mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n1c12>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cbab/a/vDzryzz9qS3WqZDwPnqyz5t/?lang=en>. Acesso em: 17 jul. 2021.

MOHD AZHAR, S. H.; ABDULLA, M.; JAMBO, S. A.; MARBAWI, H.; GANSAU, J. A.; FAIK, A. A. M.; RODRIGUES, K. F. Yeasts in sustainable bioethanol production: a review. **Biochemistry and Biophysics Reports**, Sabah, v. 10, n. 1, p. 52-61, jul. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbrep.2017.03.003>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2405580816302424?via%3Dihub>. Acesso em: 16 jul. 2021.

MORAES, M. F. D. D.; BACCHI, M. R. P.; CALDARELLI, C. E. Accelerated growth of the sugarcane, sugar, and ethanol sectors in Brazil (2000-2008): Effects on municipal gross domestic product per capita in the south-central region. **Biomass and Bioenergy**, Londrina, v. 91, n. 1, p. 116-125, ago. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.05.004>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0961953416301489?via%3Dihub>. Acesso em: 15 jul. 2021.

MOREIRA, V. R.; LEBRON, Y. A. R.; FREIRE, S. J.; PALLADINO, F.; SANTOS, L. V. S.; JACOB, R. S. Evaluation of Rice Bran as a Supplement for Production of Bioethanol by *Saccharomyces cerevisiae*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 02, p. 1-8, mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.042318>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/hgyX6tmxM8F3dx8KfGrbhyB/?lang=en>. Acesso em: 21 jul. 2021.

PRADYAWONG, S.; JUNEJA, A.; SADIQ, M. B.; NOOMHORM, A.; SINGH, V. Comparison of cassava starch with corn as a feedstock for bioethanol production. **Energies**, Pathum, v. 11, n. 12, p. 1-11, dez. 2018.

SANTOS, M. V. **Estudo da competência de *Saccharomyces cerevisiae* em co-cultura para a produção de etanol**. 2017. Dissertação (Mestrado de Engenharia Química) – Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

SCHEINADER, R. C.; SEIDEL-JUNIOR, C.; FORNASIER, F.; SOUZA, D.; CORBELLINI, V. A. Biethanol production from broken rice grains. **Interciência**, Santa Cruz do Sul, v. 43, n. 12, p. 846-851, dez. 2018.

SHARMA, S.; NANDAL, P.; ARORA, A. Ethanol Production from NaOH Pretreated Rice Straw: a Cost Effective Option to Manage Rice Crop Residue. **Waste and Biomass Valorization**, New Delhi, v. 10, n. 11, p. 3427-3434, jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0360-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-018-0360-4#citeas>. Acesso em: 15 jul. 2021.

ZABED, H.; SAHU, J. N.; SUELY, A.; BOYCE, A. N.; FARUQ, G. Bioethanol production from renewable sources: current perspectives and technological progress. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, Kuala Lumpur, v. 71, n. 1, p. 475-501, maio 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.076>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1364032116311339?via%3Dihub>. Acesso em: 21 jul. 2021.