

## PROSPECÇÃO QUÍMICA DE GENÓTIPOS EXPERIMENTAIS DE SORGO (*Sorghum bicolor*) COM POTENCIAL PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL DE 2ª GERAÇÃO

Luiza Lana Henrique de Carvalho<sup>1</sup>, Filipe Soares de Freitas<sup>1</sup>, Maria Lúcia Ferreira Simeone<sup>2</sup>, Rafael Augusto da Costa Parrella<sup>2</sup>, Lílian de Araújo Pantoja<sup>1</sup>, Alexandre Soares dos Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, Brasil  
(luiza.lana@ufvjm.edu.br)

<sup>2</sup>Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, Brasil

**Resumo:** A determinação da composição química de uma biomassa lignocelulósica, com destaque para os conteúdos de celulose e hemicelulose, é uma das etapas determinantes para a avaliação de seu uso potencial para a produção de etanol de 2ª geração. Neste estudo foram avaliados doze híbridos de sorgo, incluindo variedades de sorgo sacarino e sorgo biomassa experimentais, com vistas a prospecção inicial de sua aptidão para a produção de etanol lignocelulósico. Os genótipos 202225B007-120, 202225B008-120, 202225B008-150 e 202225B009-120 apresentaram características mais adequadas à produção de etanol.

**Palavras-chave:** Biocombustíveis; Bioenergia; Bioetanol; Celulose; Hemicelulose.

### INTRODUÇÃO

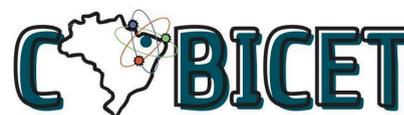
A biomassa lignocelulósica pode ser uma importante matéria-prima para a produção de biocombustíveis, especialmente para a produção de etanol de 2ª geração, dado seu alto teor de celulose e hemicelulose. A informação sobre a composição química da biomassa, especialmente, os percentuais de polissacarídeos presentes na parede celular vegetal, celulose e hemicelulose, constituídos por unidades de hexoses (C6) e pentoses (C5), é o ponto de partida para a avaliação de uma potencial aplicação como recurso energético (Mujtaba et al., 2023).

A celulose é um importante polissacarídeo presente na parede celular de vegetais. É constituída por cadeias longas de D-glicose, unidas entre si por ligações do tipo  $\beta$ -1,4, é uma hexose passível de ser convertida a etanol por meio da ação de micro-organismos, em processos fermentativos (Liu et al., 2024). A hemicelulose é outro importante polissacarídeo encontrado na parede celular vegetal. Consiste em um grupo heterogêneo de polissacarídeos ligados por interações de hidrogênio e força de Van der Waals, em geral incluindo D-xilose, D-manose, L-arabinose, D-galactose e L-galactose, carboidratos aplicáveis, por exemplo, na

produção de álcool, sorbitol e xilitol, (Huang et al., 2021).

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é um cultivar de origem africana, conhecido por sua capacidade de adaptação a ambientes extremos, com resistência a temperaturas elevadas e ao estresse hídrico (Khalifa e Eltahir, 2023). É uma planta do tipo C4, com alta eficiência fotossintética e maior concentração de carbono, assim, tende a apresentar maior produtividade em condições edafoclimáticas adversas. O ciclo de cultivo é curto, 3-5 meses, e devido a tais essas características, possui potencial intrínseco para a produção de bioenergia (Lamb et al., 2022).

Nesse contexto, a prospecção de variedades e genótipos de sorgo com potencial para a produção de bioetanol de 2ª geração parece ser uma alternativa para atender a essa nova indústria que, no Brasil, tem utilizado o bagaço da cana-de-açúcar como principal insumo. Todavia, a caracterização de diferentes genótipos de sorgo quanto à composição química da biomassa, avaliando perfis inerentes a um recurso energético, é importante para inserção efetiva dessa cultura na cadeia produtiva do etanol. Assim, o objetivo deste trabalho, foi avaliar a composição



química de doze genótipos de sorgo, visando uma possível aplicação destes, na produção de etanol de 2ª geração.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Aquisição da matéria-prima

Os genótipos de sorgo utilizados neste estudo foram desenvolvidos e fornecidos pelo programa de melhoramento genético da Embrapa Milho e Sorgo, localizada na cidade de Sete Lagoas, Minas Gerais. Foram caracterizados doze diferentes genótipos de sorgo, sendo que destes, sete são do tipo sacarino (202225B007-120, 202225B007-150, 202225B009-120, 202225B009-150, CMSXS 5017-02, CMSXS 5020-100 e CMSXS 5021-180) e cinco são do tipo biomassa (202225B008-120, 202225B008-150, 202225B011-150, CMSXS 7200-13 e BRS 716). Dentre os genótipos estudados, todos são experimentais, exceto o BRS 716 que é uma linhagem comercial adicionada como referência.

### Caracterização química dos genótipos de sorgo

As amostras foram caracterizadas quanto aos teores de umidade e cinzas de acordo com as normas analíticas do Instituto Adolph Lutz (IAL, 2008). Os teores de fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, celulose, hemicelulose e lignina foram determinados conforme métodos propostos por Van Soest (1963). Para tanto, as amostras tiveram seus conteúdos de umidade reduzidos previamente em estufa com circulação de ar forçado a 50°C por 24 horas. Os ensaios foram realizados em triplicatas e expressos em porcentagem.

### Determinação de umidade

Os teores de umidade foram determinados a partir de 3,0 g de amostras transferidas para placas de Petri previamente desumidificadas a 105°C e com peso determinado. Posteriormente, as amostras foram submetidas à secagem em estufa a 105°C, até peso constante. Os resultados foram calculados de acordo com a equação 1.

$$U = \frac{M_{au} - M_{as}}{M_{au}} \times 100 \quad (1)$$

$U$  = teor de umidade (%).

$M_{au}$  = massa da amostra úmida (g).

$M_{as}$  = massa da amostra seca (g).

### Determinação do teor de cinzas

Os teores de cinzas foram determinados a partir de 0,50 g de amostras contidas em cadinhos de porcelana previamente calcinados em mufla a 550°C por 1 hora e com pesos conhecidos. As amostras foram carbonizadas e incineradas em mufla a 550°C por um período de 5 horas. Após esse tempo, aguardou-se o resfriamento dos cadinhos até 100°C na própria mufla, e então os transferiu para resfriamento em dessecador até temperatura ambiente  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , até que fosse observado peso constante. Os teores de cinzas totais foram calculados conforme a equação 2.

$$CZ = \frac{M_{cc} - M_{cv}}{Ma} \times 100 \quad (2)$$

$CZ$  = teor de cinzas (%).

$M_{cc}$  = massa do cadinho contendo cinzas (g).

$M_{cv}$  = massa do cadinho vazio (g).

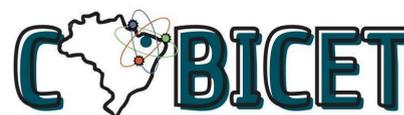
$Ma$  = massa da amostra (g).

### Determinação de Fibra em Detergente Neutro (FDN)

Os teores de fibra em detergente neutro foram determinados a partir de 0,25 g de amostras pesadas em tubos de digestão de 25 x 250 mm, em seguida foram adicionados aos tubos 0,25 g de sulfato de sódio, 25 mL de solução de detergente neutro e 50  $\mu\text{L}$  de alfa amilase termoestável comercial (Termamyl 120L). Os tubos foram submetidos à digestão em bloco digestor, por um período de 60 minutos a 110°C. O material digerido foi posteriormente filtrado em cadinhos filtrantes tipo Gooch, previamente desumidificados e com peso conhecido. As amostras resultantes da filtração foram lavadas com água destilada quente ( $95 \pm 1^\circ\text{C}$ ) até não haver formação de espuma. Em seguida as amostras foram lavadas com 30 mL de acetona, para retirada dos resíduos do detergente e lipídeos. Após escoada toda a acetona, os filtros contendo as amostras foram submetidos à secagem em estufa a 105°C até que fosse observado peso constante. Os teores de fibra em detergente neutro foram calculados conforme a equação 3.

$$FDN = \frac{M_{fr} - M_{fv}}{Ma} \times 100 \quad (3)$$

$FDN$  = teor de fibra em detergente neutro (%).



$Mfr$  = massa do cadinho com resíduo insolúvel (g).

$Mfv$  = massa do cadinho vazio (g).

$Ma$  = massa da amostra (g).

Solução de Detergente Neutro: 30g de dodecil sulfato de sódio (USP), 18,61g de sal dissódico etilenodiaminotetraacético (desidratado), 6,81g de borato de sódio, 4,56g de fosfato de sódio dibásico (anidro) e 10,0ml de trietilenoglicol diluídos em 1L de H<sub>2</sub>O destilada. pH está entre 6,9 e 7,1.

### Determinação de Fibra em Detergente Ácido (FDA)

Os teores de fibra em detergente ácido foram determinados a partir de 0,25 g de amostras pesadas em tubos de digestão de 25 x 250 mm, adicionados de 25 mL de solução de detergente ácido. Em seguida, as amostras foram digeridas em bloco digestor por 60 minutos a 110°C e seguiu com os demais procedimentos, conforme descrito no item anterior. Os teores de fibra em detergente ácido foram calculados conforme a equação 4.

$$FDA = \frac{Mfr - Mfv}{Ma} \times 100 \quad (4)$$

$FDA$  = teor de fibra em detergente ácido (%).

$Mfr$  = massa do cadinho com resíduo insolúvel (g).

$Mfv$  = massa do cadinho vazio (g).

$Ma$  = massa da amostra (g).

Solução de Detergente Ácido: 20g de brometo de cetiltrimetilamônio (CTAB) diluído em 1L de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1,0N (0,5 mol/L).

### Determinação do teor de celulose

Os teores da fração celulose foram determinados a partir dos materiais provenientes da análise de FDA. Aos cadinhos com amostras resultantes do FDA foram adicionados 30 mL de ácido sulfúrico 72% (p/p) e com o auxílio de um bastão de vidro homogeneizou-se a mistura. Em seguida, após total escoamento do ácido, os cadinhos foram lavados com água destilada quente (95±1) para remoção completa do ácido. Os cadinhos foram submetidos à secagem em estufa a 105°C até peso constante, sendo posteriormente resfriados em dessecador e pesados. O teor de celulose foi determinado pela diferença de peso dos cadinhos antes e depois da digestão das amostras com solução de ácido sulfúrico 72%. Os resultados foram calculados de acordo com a equação 5.

$$Cel = \frac{Mfa - Mfd}{Ma} \times 100 \quad (5)$$

$Cel$  = teor de celulose (%).

$Mfa$  = massa do cadinho com a FDA antes da adição do ácido (g).

$Mfd$  = massa do cadinho com amostra digerida depois da adição do ácido (g).

$Ma$  = massa da amostra (g).

### Determinação do teor de lignina

Os teores de lignina foram determinados a partir das amostras remanescentes da análise celulose. As amostras contidas nos cadinhos de Gooch foram incineradas em mufla a 550°C por um período de cinco horas. Ao final desse tempo, a mufla foi desligada e aguardou-se o resfriamento dos cadinhos até 100°C, e posteriormente os transferiu para dessecador até que fosse alcançada temperatura ambiente (25±2°C). Os cadinhos foram pesados e os resultados calculados conforme a equação 6.

$$LDA = \frac{Mfa - Mfd}{Ma} \times 100 \quad (6)$$

$LDA$  = teor de lignina (%).

$Mfa$  = massa do cadinho proveniente da análise de celulose (g).

$Mfd$  = massa do cadinho com amostra incinerada (g).

$Ma$  = massa da amostra (g).

### Determinação do teor de hemicelulose

Os teores de hemicelulose foram determinados a partir da diferença entre os valores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA). Os resultados foram calculados de acordo com a equação 7.

$$Hem = FDN - FDA \quad (7)$$

$Hem$  = teor de hemicelulose (%).

$FDN$  = teor de fibra em detergente neutro (%).

$FDA$  = teor de fibra em detergente ácido (%).

### Análise estatística

As análises estatísticas dos resultados foram realizadas por meio do software SISVAR, versão 5.8 (Build 92). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas tabelas 1, 2 e 3 são observadas as comparações de médias entre os resultados de teores de umidade, cinzas, fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose, hemicelulose e lignina obtidos por meio da caracterização química dos genótipos de sorgo.

**Tabela 1.** Composição química e comparação de médias de umidade e cinzas em diferentes genótipos de sorgo.

Genótipo	Umidade (%)	Cinzas (%)
202225B007-120	7,89 ± 0,06 <sup>a</sup>	8,10 ± 0,16 <sup>e</sup>
202225B007-150	7,82 ± 0,08 <sup>a</sup>	6,51 ± 0,06 <sup>c</sup>
202225B008-120	7,91 ± 0,41 <sup>a</sup>	6,38 ± 0,18 <sup>c</sup>
202225B008-150	7,21 ± 0,21 <sup>a</sup>	6,05 ± 0,05 <sup>de</sup>
202225B009-120	6,75 ± 0,19 <sup>a</sup>	7,30 ± 0,10 <sup>f</sup>
202225B009-150	7,87 ± 0,09 <sup>a</sup>	6,49 ± 0,34 <sup>c</sup>
202225B011-150	8,61 ± 0,13 <sup>a</sup>	5,60 ± 0,06 <sup>cd</sup>
CMSXS 5017-02	8,29 ± 0,12 <sup>a</sup>	3,19 ± 0,28 <sup>a</sup>
CMSXS 5020-100	9,88 ± 0,12 <sup>a</sup>	4,20 ± 0,16 <sup>b</sup>
CMSXS 5021-180	5,92 ± 0,15 <sup>a</sup>	3,84 ± 0,23 <sup>ab</sup>
CMSXS 7200-13	6,67 ± 0,25 <sup>a</sup>	5,23 ± 0,10 <sup>c</sup>
BRS 716	5,15 ± 0,07 <sup>a</sup>	5,12 ± 0,10 <sup>c</sup>

Valores nas linhas (médias ± desvio-padrão) seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 0,05 de significância.

Quanto aos teores de umidade, os percentuais variaram entre 5,15% (BRS 716) e 9,88% (CMSXS 5020-100), no entanto, os genótipos não apresentaram valores com diferenças significativas. O teor de umidade é um fator importante em uma biomassa, pois, revela a capacidade de absorção que esta possui, e segundo Swain e Thatoi (2013) essa capacidade de captar umidade, até certo ponto pode auxiliar na melhoria do processo de sacarificação da biomassa, aumentando assim, os rendimentos de etanol na tecnologia de 2<sup>a</sup> geração. Todavia, Frigo e Conepelle (2024) destacam que em casos onde a biomassa é utilizada para produzir bioenergia a partir da queima, a umidade afeta negativamente a eficiência da combustão, além de aumentar a emissão de gases. Em se tratando da tecnologia de produção de etanol de 1<sup>a</sup> geração, maiores teores de umidade são importantes durante a moagem da biomassa para melhor extração do caldo, uma vez que, a umidade auxilia na remoção mais eficiente dos açúcares ali presentes.

Em relação à cinzas, os valores foram estatisticamente diferentes para a maioria dos genótipos, sendo que, apenas os genótipos 202225B007-150, 202225B008-120 e 202225B009-150, bem como o CMSXS 7200-13 e BRS 716 não apresentaram diferenças significativas. O menor percentual de cinzas (3,19%) foi observado no genótipo CMSXS 5017-02, enquanto que, no 202225B007-120 foi encontrado um total de 8,10%, valor que é superior ao observado por Luna et al. (2022) que encontraram um teor de 3,8% de cinzas em uma variedade de sorgo sacarino.

Consoante Miyafuji et al. (2003), as cinzas presentes em componentes vegetais tendem a melhorar a fermentabilidade de hidrolisados, devido aos efeitos de alguns componentes inorgânicos que atuam como nutrientes metabólicos para os micro-organismos.

Os teores de FDN e FDA nos genótipos experimentais estudados foram inferiores ao observado na linhagem comercial (BRS 716), com valores que variaram entre 50,97% e 66,93% para FDN e entre 29,18% e 51,67% para FDA. As fibras, segundo Viana et al. (2008) tendem a reduzir a extração do caldo nas usinas de etanol de 1<sup>a</sup> geração quando superiores a 14%, contudo, teores inferiores a este deixam a biomassa mais suscetível a danos mecânicos ocasionados durante o corte e carregamento, e conseqüentemente, há um aumento no risco de contaminação microbiana, resultando na perda de açúcares.

**Tabela 2.** Composição química e comparação de médias de FDN e FDA em diferentes genótipos de sorgo.

Genótipo	FDN (%)	FDA (%)
202225B007-120	64,44 ± 0,39 <sup>bc</sup>	45,64 ± 1,10 <sup>sh</sup>
202225B007-150	58,15 ± 0,14 <sup>abc</sup>	40,76 ± 0,23 <sup>de</sup>
202225B008-120	66,93 ± 2,07 <sup>cd</sup>	42,49 ± 0,37 <sup>ef</sup>
202225B008-150	63,68 ± 1,17 <sup>bc</sup>	40,38 ± 0,35 <sup>de</sup>
202225B009-120	58,01 ± 1,01 <sup>abc</sup>	47,42 ± 0,35 <sup>h</sup>
202225B009-150	58,05 ± 8,39 <sup>abc</sup>	41,68 ± 0,49 <sup>def</sup>
202225B011-150	60,14 ± 2,07 <sup>abc</sup>	39,38 ± 0,22 <sup>cd</sup>
CMSXS 5017-02	50,97 ± 0,84 <sup>a</sup>	29,18 ± 0,53 <sup>a</sup>
CMSXS 5020-100	55,25 ± 0,46 <sup>ab</sup>	32,76 ± 0,39 <sup>b</sup>
CMSXS 5021-180	61,68 ± 0,97 <sup>bc</sup>	37,04 ± 0,46 <sup>c</sup>
CMSXS 7200-13	66,22 ± 1,17 <sup>c</sup>	43,73 ± 1,02 <sup>fe</sup>
BRS 716	76,51 ± 0,25 <sup>d</sup>	51,67 ± 1,02 <sup>i</sup>

FDN: Fibra em Detergente Neutro; FDA: Fibra em Detergente Ácido. Valores nas linhas (médias ± desvio-padrão) seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 0,05 de significância.

Os percentuais de celulose não diferiram significativamente entre os grupos de genótipos 202225B007-120, 202225B007-150, 202225B009-150 e BRS 716. O mesmo foi observado entre os genótipos 202225B0011-150, CMSXS 5020-100, CMSXS 5021-180. O valor médio observado foi de 29,81%, sendo o genótipo 202225B009-120 o que apresentou maior teor de celulose em sua composição (37,32%). O genótipo CMSXS 5017-02 foi o aquele onde se observou o menor teor celulósico (19,81%). Em estudo avaliando a recuperação de açúcares solúveis do colmo de sorgo sacarino, Xu et al. (2020) encontraram um percentual máximo de 31,30% de celulose em um dos 16 mutantes de sorgo por eles caracterizados.

**Tabela 3.** Composição química e comparação de médias de celulose, hemicelulose, lignina e cinzas de diferentes genótipos de sorgo.

Genótipo	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)
202225B007-120	34,52 ± 0,74cde	18,80 ± 1,09acb	09,21 ± 0,74ab
202225B007-150	32,50 ± 0,73cde	17,39 ± 0,44ab	07,39 ± 0,19ab
202225B008-120	35,26 ± 2,15de	24,44 ± 2,45d	07,02 ± 2,39a
202225B008-150	31,05 ± 1,12cd	23,30 ± 1,52cd	09,05 ± 0,70ab
202225B009-120	37,32 ± 0,44e	17,13 ± 0,02ab	09,52 ± 0,80ab
202225B009-150	33,31 ± 0,40cde	16,33 ± 1,50a	08,02 ± 0,42ab
202225B011-150	24,86 ± 3,37ab	20,76 ± 2,10abcd	13,09 ± 3,54abc
CMSXS 5017-02	19,81 ± 1,16a	21,80 ± 1,38bcd	08,77 ± 1,49ab
CMSXS 5020-100	24,45 ± 0,69ab	22,49 ± 0,64bcd	07,63 ± 0,45ab
CMSXS 5021-180	23,30 ± 1,89ab	24,64 ± 1,10d	13,13 ± 1,07abc
CMSXS 7200-13	28,64 ± 1,94bc	22,49 ± 1,01bcd	13,57 ± 2,02bc
BRS 716	32,78 ± 2,51cde	24,84 ± 1,63d	17,47 ± 1,61c

Valores nas linhas (médias ± desvio-padrão) seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 0,05 de significância.

Em se tratando de hemicelulose, os genótipos 202225B007-150 e 202225B009-120, não apresentaram diferença significativa entre si, assim como os genótipos CMSXS 5017-02, CMSXS 5020-100, CMSXS 7200-13. O maior teor de hemicelulose observado foi de 24,84% para o genótipo BRS 716, enquanto que no genótipo 202225B009-150, foi encontrado o menor valor (16,33%) de fração hemicelulósica. Os valores são próximos aos reportados Martins et al. (2021) em avaliação de diferentes pré-tratamentos na quebra da hemicelulose presente no bagaço, colmo e folhas de sorgo sacarino, onde os autores encontraram os percentuais de 26,22%, 20,92% e 19,93%, respectivamente.

A lignina, macromolécula responsável por conferir rigidez estrutural e resistência a ataques microbiológicos e mecânicos aos tecidos vegetais, foi observada em teores iguais ou superiores a 7% da constituição dos genótipos avaliados. O conjunto de genótipos (202225B008-120, 202225B0011-150, CMSXS 5021-180, CMSXS 7200-13 e BRS 716) diferiram significativamente dos demais. O genótipo 202225B008-120 foi o que apresentou menor teor de lignina (7,02%), enquanto que o maior valor observado, 17,47%, foi para o BRS 716. Os valores encontrados, são inferiores aos citados por Li, Long e Ding (2020), que observaram a presença de lignina no percentual de 24,04% no bagaço de sorgo sacarino. Embora apresente função protetiva as plantas, segundo Wu et al. (2022) a lignina é um componente que afeta negativamente a aplicação de uma biomassa na produção de etanol, uma vez que, durante o processo de hidrólise ácida, é responsável por liberar compostos fenólicos, os quais são tóxicos às células microbianas, afetando diretamente o rendimento do produto.

## CONCLUSÃO

A composição química dos diferentes híbridos de sorgo avaliados apresentou variações, sendo que em todos os 12 genótipos foram observados teores das frações holocelulose (celulose + hemicelulose) superiores a 40%. Os genótipos 202225B007-120, 202225B008-120, 202225B008-150 e 202225B009-120 apresentaram características químicas mais favoráveis a produção de etanol de 2ª geração, considerando que neles foram observadas, as melhores razões holocelulose/lignina. Os resultados aqui relatados, comprovam o potencial do sorgo como uma biomassa energética promissora para a produção de biocombustíveis.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG); Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas – MG; Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e Programa de Pós – Graduação em Biocombustíveis – UFVJM/UFU.

## REFERÊNCIAS

Frigo M, Caneppele F. A influência da umidade no aproveitamento da biomassa florestal. 2024. doi:10.47402/ed.ep.c240218022935.

Huang LZ, Ma MG, Ji XX, Choi SE, Si C. Recent Developments and Applications of Hemicellulose from Wheat Straw: A Review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, vol. 9, 2021, <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.690773>.

Instituto Adolph Lutz. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análises de alimentos. 4ª ed. (1ª Edição digital), 2008. 1020 p.

Khalifa M, Eltahir E. Assessment of global sorghum production, tolerance, and climate risk. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 7. 2023. 10.3389/fsufs.2023.1184373.

Lamb A, Weers B, McKinley B, Rooney W, Morgan C, Marshall-Colon A et al. Bioenergy sorghum's deep roots: A key to sustainable biomass production on annual cropland. *GCB Bioenergy*. 2022 Feb;14(2):132-156. doi: 10.1111/gcbb.12907

Li D, Long L, Ding S. Alkaline organosolv pretreatment of different sorghum stem parts for enhancing the total reducing sugar yields and *p*-coumaric acid release. *Biotechnol Biofuels*. 2020 Jun 10;13:106. doi: 10.1186/s13068-020-01746-4.

Liu Y, Li T, Yang C, Deng H. Bacterial energy metabolism, Editor(s): Yi-Wei Tang, Musa Y. Hindiyeh, Dongyou Liu, Andrew Sails, Paul Spearman, Jing-Ren Zhang, *Molecular Medical Microbiology (Third Edition)*, Academic Press, 2024, Pages 177-200, ISBN 9780128186190, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818619-0.00155-6>

Luna P, Hoerudin R, Charalampopoulos D, Chatzifragkou A. Fractionation of carbohydrate polymers from Indonesian sorghum by-products, *Food and Bioproducts Processing*, Volume 135, 2022, Pages 114-122, ISSN 0960-3085, <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.07.007>.

Mujtaba M, Fraceto LF, Fazeli M, Mukherjee S, Savassa SM, Medeiros GA, Pereira AES, Mancini SD, Lipponen J, Vilaplana F. Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: a review with focus on biofuels, biocomposites and bioplastics, *Journal of Cleaner Production*, Volume 402, 2023, 136815, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136815>.

Martins RP, Schmatz AA, Freita LA, MJR, Brienzo M, Solubilization of hemicellulose and fermentable sugars from bagasse, stalks, and leaves of sweet sorghum, *Industrial Crops and Products*, Volume 170, 2021, 113813, ISSN 0926-6690, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113813>.

Miyafuji H, Danner H, Neureiter M, Thomasser C, Braun R. Effect of wood ash treatment on improving the fermentability of wood hydrolysate. *Biotechnol Bioeng*. 2003 Nov 5;84(3):390-3. doi: 10.1002/bit.10672.

Swain, MJM, Thatoi, H. Bio-ethanol Production from Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) Flour using Co-Culture of *Trichoderma* sp. and *Saccharomyces cerevisiae* in Solid-State Fermentation. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 56. 2013. 171-179p.

Van Soest, PJ Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds. II. A Rapid Method for the Determination of Fiber and Lignin. *Journal of the Association of Official Analytical Chemistry*, 46, 1963. 829-835p.

Viana RS, Silva PH, Mutton MA, Mutton MJR., Guimarães ER, Bento M. Efeito da aplicação de maturadores químicos na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) variedade SP81-3250. *Acta Scientiarum Agronomy*, 30(1), 2008, 65-71 p. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v30i1.1130>

Wu Z, Peng K, Zhang Y, Wang M, Yong C, Chen L, Qu P, Huang H, Sun E, Pan M. Lignocellulose dissociation with biological pretreatment towards the biochemical platform: A review. *Mater Today Bio*. 2022 Sep 28;16:100445. doi: 10.1016/j.mtbio.2022.100445.

Xu Y, Li J, Xin Z, Bean SR, Tilley M, Wang D. Water-Soluble Sugars of Pedigreed Sorghum Mutant Stalks and Their Recovery after Pretreatment. *Applied Sciences*. 2020; 10(16):5472. <https://doi.org/10.3390/app10165472>