

CULTURAS AGROENERGÉTICAS UTILIZADAS PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL

Aldriene Divina Costa da Silva¹

Micaele Rodrigues de Souza²

Matheus Martins Daúde³

Solange Aparecida Ságio⁴

RESUMO

Os impactos ambientais causados pelo intenso uso de combustíveis fósseis impulsionam a realização de vários estudos nas últimas décadas voltados a culturas energéticas. Atualmente, o maior produtor mundial de etanol é os Estados Unidos que utiliza, para este fim, a cultura do milho (*Zea mays*). O Brasil se apresenta como o segundo maior produtor de culturas energéticas, fazendo uso, principalmente, da cultura da cana-de-açúcar. Entretanto, a cultura da batata-doce tem atraído bastante atenção do setor energético, devido ao alto teor de amido presente em sua composição. No Estado do Tocantins, há trabalhos referentes ao melhoramento genético da batata-doce visando a produção de etanol, indicando o seu enorme potencial para ser utilizada na cadeia produtiva de biocombustíveis. O etanol produzido por culturas agroenergéticas pode, futuramente, substituir o combustível fóssil, pois existem muitas culturas com potencial para serem empregadas com essa finalidade. Contudo, ainda é necessária uma maior consolidação por meio de pesquisas para a inserção dessas culturas na cadeia produtiva do etanol. Assim, nesta revisão bibliográfica, são abordadas as principais culturas empregadas para a produção de biocombustível, como a batata-doce.

Palavras-chave: Biocombustíveis. Agroenergia. Batata-doce. Matéria-prima.

ABSTRACT

*The environmental impacts caused by the intense use of fossil fuels, has driven the accomplishment of several studies in the last decades turned to energy cultures. Currently the largest world producer of ethanol is the United States and the major raw material used for this purpose is corn (*Zea mays*). Brazil presents itself as the second largest producer, using mainly the culture of sugarcane. However, the sweet potato crop has attracted a lot of attention from the energy sector, due to the high starch content present in its composition. In the State of Tocantins there are works carried out regarding the genetic improvement of sweet potatoes aiming at the production of ethanol, indicating its enormous potential to be used in the biofuel production chain. Ethanol produced by agro-energetic crops may replace fossil fuel in the future, as there are many crops with the potential to be used for this purpose. However, further consolidation through research is still needed to insert these into the ethanol production chain. Thus, this bibliographic review addresses the main crops used to produce this biofuel, as well as potential crops such as sweet potatoes.*

Keywords: Biofuels. Agroenergy. Sweet Potatoes. Feedstock.

1 Mestre em Agroenergia. Universidade Federal do Tocantins-UFT, Campus de Palmas. E-mail: aldriene.divina@gmail.com

2 Mestranda em Agroenergia. Universidade Federal do Tocantins-UFT, Campus de Palmas. E-mail: micaele.souzasp@gmail.com

3 Mestrando em Agroenergia. Universidade Federal do Tocantins-UFT, Campus de Palmas. E-mail: matheusdaude@gmail.com

4 Professora Doutora da Pós-graduação em Agroenergia. Universidade Federal do Tocantins-UFT. E-mail: solangesagio@uft.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais causados pelo intenso uso de combustíveis fósseis impulsionaram a realização de vários estudos voltados a culturas energéticas nas últimas décadas (FIERRO et al., 2019). Tais estudos, de forma geral, têm por intuito estabelecer matérias-primas, tipos de tecnologia de processamento e os setores de implantação mais adequados para atender aos quesitos econômicos, sociais e ambientais necessários para se ter uma cadeia sustentável (ACHEAMPONG et al., 2017).

Os biocombustíveis representam um segmento da bioenergia e o etanol é considerado um dos principais biocombustíveis empregados no país (ANP, 2019a), podendo ser obtido por meio de matérias-primas que apresentam altos teores de sacarose, como por exemplo, a cana-de-açúcar (BRINKMAN et al., 2018) e a beterraba açucarada (DE LAPORTE e RIPPLINGER, 2018); altos teores de amido como a cultura do milho (ZABED et al., 2016) e da mandioca (INTARAMAS et al., 2019); ou altos teores de celulose como é o caso do bagaço da cana-de-açúcar (HAQ et al., 2020) e a palha de arroz e do trigo (PASSOTH e SANDGREN, 2019).

Dessa maneira, as matérias primas empregadas para produção de etanol são classificadas em: biomassa açucarada, biomassa amilácea e biomassa celulósica. Os dois primeiros tipos de biomassa citados produzem o que é chamado de etanol de primeira geração (1G) e a utilização da biomassa celulósica gera o etanol de segunda geração (2G) (DAMAY et al., 2018).

Atualmente, o maior produtor mundial de etanol é os Estados Unidos (com 60,79 bilhões de litros) e a matéria-prima majoritária utilizada para este fim é a cultura do milho (*Zea mays*). O Brasil se apresenta como o segundo maior produtor (com 29,98 bilhões de litros), fazendo uso principalmente da cultura da cana-de-açúcar (UDOP, 2020). Contudo, o emprego de uma maior diversificação de matérias primas tem despertado interesse, principalmente pelo fato de permitir a participação do pequeno agricultor nessa cadeia (TABORDA et al., 2015), além de afetar diretamente os custos da produção e, ainda, evitar a prevalência de pragas e doenças que podem ser geradas pelo monocultivo (EMBRAPA, 2018).

A batata-doce (*Ipomoea batatas*) é considerada uma cultura essencial devido ao seu conteúdo nutricional e geneticamente diversa, o que favorece seu uso na nutrição animal e humana (FAO, 2020). Além disso, tem atraído bastante atenção do setor energético, pelo alto teor de amido presente em sua composição, apresentando-se como uma matéria-prima alternativa para a produção de etanol (SWAIN, MISHRA e THATOI, 2013; COSTA et al., 2018).

No Estado do Tocantins, desde 1997, vem sendo desenvolvidos trabalhos na área de melhoramento genético da batata-doce (MOMENTÉ et al., 2004; SILVEIRA et al., 2008). Buscando uma produção de etanol em larga escala, tem sido levado em consideração a produtividade de raízes e a resistência a pragas e doenças de solo (MARTINS et al., 2012; CHAVES et al., 2013; DE SANTANA et al., 2013), sendo estas as características mais importantes para a melhoria da cultura (OKADA

et al., 2019). Segundo a literatura, a batata-doce industrial apresenta potencial para ser usada na complementação do setor sucroalcooleiro, podendo ser aproveitada em períodos da entressafra da cana-de-açúcar, como também em solos que não permitem o cultivo da cana-de-açúcar (SILVEIRA et al., 2014).

O objetivo deste estudo foi realizar um levantamento de dados sobre as principais culturas empregadas para a produção de etanol, assim como culturas potenciais como a batata-doce. A busca de dados foi realizada por meio da plataforma *Web of Science*, utilizando os seguintes termos: ethanol; energy; biofuel; feedstock; sucrose; cellulose e starch. Foram também utilizados o nome científico e comum (em inglês) das culturas aqui pesquisadas.

2 CULTURAS AGROENERGÉTICAS UTILIZADAS PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL

2.1 MILHO

O milho (*Zea mays*) pertence à ordem Gramineae, família Poaceae (gramínea), gênero *Zea*. É a única cultura agrícola que já ultrapassou 1 bilhão de toneladas, sendo considerada uma cultura fundamental para agricultura brasileira, estando presente em todas as regiões do país (ECKERT et al., 2018; EMBRAPA, 2019).

Atualmente, o maior produtor da cultura é os Estados Unidos com 370.960 mil toneladas (safra 2017/2018) (CONAB, 2018a), mais de um terço da safra é utilizada para a produção de etanol. Em média, apenas nos Estados Unidos, 1.095 milhão de barris são produzidos por dia (UDOP, 2020).

O Brasil é o segundo maior exportador de milho, responsável por 25% do total mundial de vendas. Mesmo não sendo o maior produtor da cultura, o país tem apresentado aumento de área, aumento de produção e aumento de produtividade superior ao crescimento dos Estados Unidos (EMBRAPA, 2019; UDOP, 2020). A cultura do milho, juntamente com as culturas de soja, arroz e algodão, representa 94,5% da safra do país, sendo estas definidas como as principais culturas aqui produzidas, ocupando 63 milhões de hectares (CONAB, 2019a).

A crescente produção do milho se dá pela sua elevada demanda, devido a sua extensa aplicação que vai desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia (CONAB, 2019b). Acredita-se que este cereal tenha mais de 3.500 aplicações (MIRANDA, 2018), apresentando-se como um dos principais componentes da ração animal (CONAB, 2018a); um alimento básico para a humanidade, sendo responsável juntamente com o arroz e o trigo por mais de 40% das calorias ingeridas (FAO, 2019); principal cultura utilizada para produção de etanol (UDOP, 2020) e largamente empregado na indústria para a produção, por exemplo, de plásticos biodegradáveis (CAZÓN et al., 2017).

Tal fato ocorre devido a composição do milho, pois este é constituído por cerca de 70% de amido (JOHNSTON e MOREAU, 2017), que é um dos principais compostos que tem sido empregados pela indústria (NIU et al., 2017; ENGEL, AMBROSI e TESSARO, 2019; QIN et al., 2020), por ser abundante,

barato, biodegradável e comestível (CAZÓN et al., 2017).

A produção do etanol utilizando o amido difere-se do processo feito a partir da cana-de-açúcar apenas nas etapas iniciais. Como o amido é um polissacarídeo, é necessário o processo de hidrólise, que tem por objetivo a quebra da molécula originando açúcares fermentáveis. Pelo fato deste processo ser uma etapa a mais para obtenção de etanol, a aquisição do biocombustível a partir destas matérias-primas é mais onerosa do que o obtido a partir de fontes açucaradas (EMBRAPA, 2009; ECKERT et al, 2018).

2.2 CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) pertence à família Poaceae (Gramínea), ao gênero *Saccharum* e tem como seu centro de origem a Nova Guiné (LUCCHESI, 2001). Seu caule é rico em sacarose, sendo esta extraída, purificada, e aplicada, principalmente, como matéria-prima na indústria alimentícia ou na produção de etanol (EMBRAPA, 2017a).

A criação do Proálcool no Brasil, em 1975, incentivou o cultivo desta cultura, pois objetivava substituir parcialmente a gasolina devido aos altos preços do petróleo importado e, também, revitalizar o setor sucroalcooleiro (GOLDEMBERG, 2017). Consequentemente, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar com mais de 600 milhões de toneladas produzidas na safra 2018/2019 e espera-se um aumento de 3,6 % na próxima safra. Além disso, o país se apresenta como o segundo maior produtor de etanol, sendo pioneiro na utilização deste em larga escala como combustível. Mais de 50% da cana-de-açúcar produzida foi direcionada para produção de biocombustível, atingindo na safra anterior um novo recorde de produção com 33,14 bilhões de litros (ANP, 2019b; CONAB, 2019b; UDOP, 2020). Levando em consideração os dados disponíveis da última safra, a produção de etanol/ha é de aproximadamente 6.211 litros (UDOP, 2019; CONAB, 2020).

O amplo cultivo da cana-de-açúcar está diretamente ligado à sua aplicação em distintos segmentos industriais, pois até mesmo a partir do seu resíduo (bagaço) é possível a geração de energia elétrica, o que favorece não apenas a economia dentro das usinas, bem como a venda da energia excedente (EMBRAPA, 2017a; CONAB, 2018b).

O etanol obtido a partir da cultura da cana-de-açúcar pode ser tanto de primeira geração como de segunda geração (DAMAY et al., 2018), pois ele pode ser produzido não apenas da sacarose presente no colmo, como também da celulose e hemicelulose presente nas folhas. As folhas da cana-de-açúcar são constituídas por 44% de celulose, 28% de hemicelulose e 10 % de lignina (MOODLEY e KANA, 2015). Por meio do processo de hidrólise é possível decompor a celulose e hemicelulose, gerando açúcares fermentáveis (JUTAKRIDSADA et al., 2019). Outros produtos provenientes do uso da cultura é a cachaça, o açúcar e a rapadura que são produzidas em pequenas fábricas (CONAB, 2019b).

A implantação e o crescimento da produção de etanol, assim como a de outros produtos derivados da cana-de-açúcar no Brasil, são favorecidos principalmente pela localização geográfica do país que apresenta uma grande diversidade de microclimas, possibilitando a produção da cultura em diferentes períodos de tempo (CONAB, 2019b). Contudo, sabe-se que, por mais que seja cultivada em quase todas as regiões do país, o que significa diversos tipos de solo e sob a influência de diferentes condições climáticas, tais ambientes influenciam diretamente na produtividade e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (MIRANDA et al., 2020). Tal fato resultou no desenvolvimento de diversos trabalhos voltados para esta cultura, visando pesquisar desde a qualidade do solo (CHERUBIN et al., 2019) tolerância a herbicidas (KHAN et al., 2019) pragas e doenças (AHMED et al., 2019), como também estudos sobre o teor de sacarose (KUMAR et al., 2017) e o balanço de carbono (WEILER et al., 2019), já que o principal intuito é a substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis para se reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE).

Estudos de cenários, concentrados na região centro-sul do Brasil, indicam que a expansão da produção de etanol no país ainda por meio do uso da cultura em questão, pode aumentar em 2030 o PIB nacional em bilhões de dólares e impactar de maneira significativa a geração de empregos (BRINKMAN et al., 2018).

2.3 BATATA-DOCE

A batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) é uma dicotiledônea, pertencente à família das Convolvuláceas e ao gênero ipoméia. Esta cultura contém raízes de reserva (tuberosa) que são responsáveis pela absorção de água e extração de nutrientes do solo (EMBRAPA, 2008). Essas raízes armazenam energia na forma de carboidratos, sendo o amido o principal carboidrato de armazenamento. As proporções de amido variam entre as espécies e entre os órgãos da planta, mais especificamente na batata-doce o mesmo pode representar de 50 a 80 % da sua matéria seca (RUKUNDO et al., 2013; BAHAJI et al., 2014). As raízes tuberosas podem ser aplicadas em vários setores industriais (alimentício, pecuária e energético) sendo assim, a principal parte de interesse comercial da batata-doce (OKADA et al., 2019).

O alto teor de amido, presente nas raízes da batata-doce, possibilita seu uso como matéria-prima para produção de etanol e biopolímeros, como o plástico biodegradável (SILVEIRA et al., 2014; WIDODO, WAHYUNINGSIH e UEDA, 2015). Além disso, pode ser cultivada sob diversas condições climáticas, principalmente em locais onde a temperatura média é acima de 24°C, com baixo custo para implantação das lavouras e pode ainda ser produzida em terras menos férteis, o que favorece a sua aplicabilidade no setor bioenergético (SILVEIRA et al., 2014; SEBRAE, 2017).

Desse modo, a ampla diversidade climática na qual a batata-doce pode ser cultivada permite seu plantio em todo o mundo. Contudo, o país de maior destaque na produção desta cultura é a China com 72.031.782 toneladas, o que corresponde a mais de 80% da produção mundial, já o Brasil

representa somente 0,30% da produção total (FAOSTAT, 2016; FAOSTAT, 2017).

Dados demonstram que uma tonelada de cana-de-açúcar produz 80 litros de etanol, valor muito abaixo de 158 litros de combustível produzidos quando aplicado a batata-doce como matéria-prima (EMBRAPA, 2016a). Dessa forma, a produção de etanol a partir da batata-doce é interessante, não somente pela alta produtividade, mas também por ser aceito como um álcool fino aplicável ao mercado farmacêutico, indústria de cosmético e bebidas. Para o mercado de biocombustível, especialmente para o Brasil, esse álcool também se mostra atrativo, uma vez que atende os parâmetros técnicos exigidos pela Agência Nacional de Petróleo (ANP) e pode ser comercializado na forma de álcool anidro ou hidratado (SILVEIRA et al., 2014).

2.4 OUTRAS CULTURAS AGROENERGÉTICAS

Uma cultura agroenergética é aquela utilizada na produção de biocombustíveis, ou queimada para gerar eletricidade ou calor (EMBRAPA, 2012a). As culturas energéticas podem ser classificadas também, como plantas lenhosas ou herbáceas, das quais muitas são gramíneas da família Poaceae como a cana-de-açúcar e o milho (MOREIRA, SANTOS e FAVARÃO, 2014). O uso de uma maior diversificação de matérias-primas para este fim favorece uma maior expansão dos locais de produção de biocombustíveis, bem como crescimento da produção.

A utilização de plantas lenhosas neste setor resulta na produção de etanol de segunda geração (biomassa celulósica), que se difere do processo em que se obtém o etanol de primeira geração devido as etapas de pré-tratamento e hidrólise da celulose que são feitas antes da fermentação (ANP, 2016).

O eucalipto é um exemplo de cultura energética lenhosa que pode ser empregada para produção de etanol (JONKER et al., 2019; CHU et al., 2018) e tem se apresentado como uma alternativa bastante interessante, por ser já amplamente utilizada para a produção de papel e celulose. A indústria de papel e celulose, segundo dados do MAPA (2019), detém de 35% das florestas plantadas no país e a grande demanda pela cultura do eucalipto tem impulsionado de tal maneira a sua produção, que, atualmente, o Brasil produz em média por ano 35,7 metros cúbicos por hectare, que juntamente com a produção de pinus coloca o país na liderança do ranking global de produtividade florestal (MAPA, 2019).

A quantidade de resíduos resultantes do processamento da madeira é que tem tornado o eucalipto uma matéria prima vantajosa para produção de etanol, pois cerca de 10 a 12 % (v / v) do total de biomassa colhida é representada pela casca (LIMA et al., 2013). Romani et al. (2019), ao avaliarem a composição química da casca de *Eucalyptus nitens*, observaram que o seu principal composto são polissacarídeos (60%). Além disso, nesse estudo, por meio do pré-tratamento com organossolventes foi possível observar um rendimento de etanol de 98,7% o que comprova a viabilidade do uso dessa biomassa para produção de biocombustíveis.

Outra forma que a madeira do eucalipto é empregada com fim energético é na produção de lenha, sendo está a finalidade mais comum (EMBRAPA, 2014). Magalhães et al., (2017) ao analisar a densidade energética desse tipo de madeira relatou um valor máximo de 2.912.983,7 kcal /m³.

Outra matéria-prima lenhosa potencial para produção de bioetanol e que também é amplamente utilizada como lenha são os pinheiros. Os briquetes produzidos a partir dos resíduos dos processamentos mecânico e químico da madeira de Pinus por exemplo, apresentam uma densidade energética entre 3.951.241,98 a 4.161.994,56 kcal/m³ (JUNIOR et al., 2019). Quanto a produção de etanol a partir deste tipo de material, estudos têm sido realizados buscando estabelecer processos eficientes (AL-AHMAD, 2018; DONG et al., 2018). Dong et al., (2018) em sua pesquisa alcançaram um aumento de concentração de 27% de etanol por tonelada, resultando em uma concentração de 82,3 g/L, segundo os pesquisadores a concentração obtida excede os limites técnicos e econômicos da destilação de etanol em escala industrial.

Quanto a plantas herbáceas que podem ser empregadas na produção de etanol há, por exemplo, a cultura da mandioca (*Manihot esculenta*), que já tem sido utilizada para esta finalidade em países como a China e a Tailândia (FELIPE, ALVES e VIEIRA, 2013). Esta matéria-prima pode ser utilizada para a produção de etanol de primeira geração devido ao alto teor de amido em sua composição (POONSRI SAWAT et al., 2017) e pode, também, ser matéria-prima para produção de etanol de segunda geração e energia, por meio do uso de resíduos como a própria casca e caule (SELVAKUMAR et al., 2019; SIVAMANI et al., 2019). Segundo pesquisas realizadas por Aso et al. (2019), o biometano produzido a partir de resíduos de casca provenientes de 1000 kg de mandioca, pode gerar energia suficiente para processar 1000 kg de mandioca.

O capim elefante (*Pennisetum purpureum*) é uma outra opção que tem se apresentado de forma bem atrativa na produção de etanol (FONTOURA, BRANDÃO e GOMES, 2015), devido seu alto teor de celulose, produção de biomassa e crescimento rápido (EMBRAPA 2012b, 2016b e 2017b). Mazzarella, Seguchi e Ferreira (2015) fizeram um estudo comparativo entre o capim elefante e o eucalipto visando atender à demanda energética, e por meio de uma avaliação geral de balanços energéticos, observaram que o capim elefante sobressai ao eucalipto, que é uma fonte energética já consolidada. Outras pesquisas tem sido desenvolvidas para se estabelecer as condições ideais para a produção de etanol a partir desse capim, alcançando resultados promissores, como concentrações de etanol superiores a de outras biomassas celulósicas (TSAI et al., 2018; CAMPOS et al., 2019).

Visando a produção de etanol, a cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*) também tem sido foco de muitas pesquisas (DIALLO et al., 2019; ENCISO et al., 2019; GLAB et al, 2019). Além disso, a sua produção tem crescido principalmente por ser mais resistente à seca quando comparado ao milho, e por apresentar menores custos de produção, o que significa maior oferta da matéria-prima (CONAB, 2019c). Semelhante à cultura da cana-de-açúcar, o sorgo apresenta diferentes vias para obtenção do biocombustível, sendo possível produzir o etanol por meio da hidrólise do amido presente nos grãos, fermentação direta do suco extraído do sorgo ou hidrólise de folhas e/ou bagaço (APPIAH-NKANSAH

et al., 2019). Estudos indicam que o fato de se investir no sorgo com esta finalidade representa um crescimento extremamente significativo na produção de etanol celulósico (RIVERA-BURGOS, VOLENEC e EJETA, 2019).

2.5 BALANÇO ENERGÉTICO

O balanço enenergético define-se como sendo a ferramenta que contabiliza a energia disponível e a consumida em determinado sistema de produção, permitindo assim o aperfeiçoamento do sistema para se alcançar a sua sustentabilidade (DOS SANTOS e FONTANELI, 2010). Durante toda a cadeia de produção do etanol, há uma demanda de energia que deve ser compensada ao final, ou seja, a energia produzida a partir do etanol deve ser superior a que é consumida para produzi-lo, por isso para se atestar a viabilidade de uma matéria-prima deve ser realizado o seu balanço energético que indicará a eficiência de todo o processo (ANTERO, DA SILVA e DO VALE, 2019). Para a realização do balanço energético são avaliadas todas as atividades que integram o processo, partindo desde o cultivo da matéria-prima até a obtenção do biocombustível, empregando-se, por exemplo, análises do ciclo de vida, que tem por intuito avaliar as emissões de gases do efeito estufa (GEE) e os insumos energéticos utilizados como fertilizantes e produtos químicos (OLIVEIRA, SERRA e OLIVEIRA, 2014; KHATIWADA et al., 2016).

Estudos realizados na Indonésia, sobre o balanço energético do uso do melaço da cana de açúcar para a produção do etanol, verificaram que a fase de cultivo da cultura, principalmente devido a aplicação de fertilizantes nitrogenados é a que mais contribui no total de emissões de GEE. Em relação à etapa de produção do etanol (moagem e conversão), o principal responsável pelas emissões de GEE é a queima de bagaço. Quanto as emissões líquidas de GEE do ciclo de vida da conversão do melaço da cana em etanol são $29 \text{ gCO}_{2\text{eq}}$ por MJ de etanol, reduzindo cerca de 67% das emissões ao se comparar com as emissões provenientes do uso da gasolina (KHATIWADA et al., 2016). Claro que esse percentual é variável, pois considera parâmetros específicos de onde os processos são realizados.

Contudo, outras pesquisas realizadas, por exemplo na Etiópia, concluíram também que a fase agrícola é responsável pelo maior parcela de impacto negativo, porém, mesmo assim o balanço energético da cadeia de produção do bioetanol a partir da cana-de-açúcar se apresenta positivo, ou seja, valor superior a 1, indicando que a energia obtida é superior a energia gasta (GABISA, BESSOU e GHEEWALA, 2019). Oliveira, Serra e Oliveira (2014) ao fazerem uma média sobre os valores de balanço energético encontrados na literatura para esta cultura chegaram a um balanço energético de 5,78.

A utilização de biomassa açucarada, como é o caso da cana-de-açúcar, geralmente apresenta um balanço energético melhor que as demais, devido à ausência do processo de hidrólise (ANTERO; DA SILVA; DO VALE, 2019).

Em relação à cultura do milho, mesmo está sendo a principal fonte global para produção de bioetanol, poucos trabalhos atuais relatam o seu balanço energético. Oliveira, Serra e Oliveira (2014) indicaram o balanço energético da cultura por meio de dados sobre gastos de energia disponíveis na literatura, alcançando um balanço energético de 1,2, próximo ao encontrado por Ortega-Blu et al. (2010) que obteve um balanço energético de 1,51. Resultado este bem inferior ao relatado para cana-de-açúcar.

Quanto à cultura da batata-doce, Lima e Silva et al. (2019), ao avaliar diferentes materiais genéticos e o balanço energético referente a cada um, obtiveram para os clones que produziram 50t/ha e 80t/ha um balanço energético de 7,16 e 7,68, respectivamente, indicando uma maior eficiência energética da cadeia de produção do etanol a partir desta matéria-prima do que outras fontes como a própria cultura do milho.

2.6 DESAFIOS E PERSPECTIVAS

No intuito de se reduzir as emissões de GEE e o aquecimento global, os biocombustíveis se apresentam como excelentes soluções, principalmente pela fixação de CO², que ocorre durante o processo de fotossíntese feito pelas plantas (BUCHANAN, GRUISSEM e JONES, 2015; FIERRO et al., 2019). Dessa maneira, espera-se que os biocombustíveis aumentem a sua participação na matriz energética (EPE, 2017). Entretanto, como pode ser visto por meio do balanço energético, ainda é possível e necessário otimizar algumas etapas, especialmente a fase agrícola, uma vez que estudos já indicam que o cultivo da cana-de-açúcar, por exemplo, ocasiona perdas do estoque de carbono do solo, assim como impactos na qualidade do solo (DE OLIVEIRA BORDONAL et al., 2017).

Com isso, a tendência é buscar minimizar as perdas de carbono do solo e as emissões de GEE, por meio do manejo do solo como proposto no estudo de Weiler et al. (2019), que avaliaram diferentes métodos de preparo do solo para o cultivo da cana-de-açúcar fazendo uso do óxido nítrico, e ainda analisaram a provável dinâmica do carbono no solo nos próximos 30 anos, por meio de diferentes cenários.

Através deste estudo, concluíram que independentemente do método de preparo do solo utilizado, a remoção de 75% da palhada resulta na perda definitiva dos estoques iniciais de carbono do solo durante o período de 30 anos (WEILER et al., 2019), isso ocorre pelo fato da palhada representar não somente uma fonte de nutrientes para o solo, como também proteção contra erosão, redução da incidência solar direta ao solo e outros benefícios (DE OLIVEIRA et al., 2020). Assim, as perdas causadas pelo manejo do solo reduzem o potencial da economia de carbono, provenientes do etanol da cana-de-açúcar (WEILER et al., 2019).

Otimizar o próprio processo de síntese de etanol 2G e aplica-lo é uma proposta interessante e atrativa também, visto que devido à etapa de hidrólise da celulose, o processo apresenta custos mais elevados do que o etanol 1G (OLIVEIRA, SERRA e OLIVEIRA, 2014). Acredita-se que haverá

um aumento significativo nos próximos anos de biomassa apta ao aproveitamento energético (EPE, 2017). Em busca de tornar o processo mais vantajoso, Verardi et al. (2016) propõem o aprimoramento do material utilizado no processo de hidrólise de tal maneira que dispense a etapa de lavagem (etapa anterior à hidrólise), ocasionando uma redução do custo não apenas econômico, mas também energético.

Além disso, recentemente pesquisadores encontraram no Amazonas microrganismos capazes de produzir uma enzima que realiza de maneira simultânea os processos de fermentação e a sacarificação (etapas essenciais na rota de produção do etanol 2G), o que significa a redução de custos para a indústria, já que 30 a 50% do custo da produção deste biocombustível pode ser atribuído à fase de sacarificação (AGÊNCIA FAPESP, 2018; TOYAMA et al., 2018).

Estima-se uma oferta total de etanol de 44 bilhões de litros em 2026 no Brasil, o que indica uma crescente necessidade de matéria-prima e a incorporação de fontes alternativas para produção do biocombustível (EPE, 2017). Assim, espera-se uma maior consolidação por meio de pesquisas de culturas como a batata-doce e a mandioca, para a inserção destas na cadeia produtiva do etanol (LIMA e SILVA et al. (2019).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente demanda associada à necessidade da aplicação de políticas mais sustentáveis incentivam a realização de pesquisas mais intensas voltadas para culturas agroenergéticas, pois será por meio destes estudos que a consolidação da cadeia produtiva de etanol será obtida. O presente trabalho apresentou um levantamento de informações das duas principais matérias-primas (milho e cana-de-açúcar) aplicadas à produção do etanol, bem como, informações sobre culturas potenciais, indicando os pontos que precisam ainda serem trabalhados para se tornarem viáveis e qual a necessidade de se buscar novas fontes para a produção deste importante biocombustível. Assim, foi possível concluir que matérias-primas como a batata-doce são fontes promissoras para serem aplicadas nesse segmento da bioenergia.

REFERÊNCIAS

ACHEAMPONG, M. et al. In pursuit of Sustainable Development Goal (SDG) number 7: Will biofuels be reliable? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 75, p. 927-937, 2017.

AGENCIA FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO- FAPESP. Descoberta na Amazônia enzima-chave para obtenção do etanol de segunda geração. 2018. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/descoberta-na-amazonia-enzima-chave-para-obtencao-do-etanol-de-segunda-geracao/27778/>. Acesso em 19 jan. 2020.

AGENCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTIVEIS- ANP. Etanol. 2016. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/component/content/article/2-uncategorised/202-etanol-2>.

Acesso em 26 jan. 2020.

AGENCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS- ANP. Biocombustíveis. 2019a. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis>. Acesso em 26 maio 2020.

AGENCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS- ANP. Etanol. 2019b. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/etanol>. Acesso em 22 jan. 2020.

AHMED, M. S. et al. Somaclonal variations for red rot and sugarcane mosaic virus resistance and candidate genes integrity assessment in somaclones of selected sugarcane varieties (*Saccharum officinarum* L.). *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, v. 56, n. 1, 2019.

AL-AHMAD, H. Biotechnology for bioenergy dedicated trees: meeting future energy demands. *Zeitschrift für Naturforschung C*, v. 73, n. 1-2, p. 15-32, 2018.

ANTERO, R. V. P.; DA SILVA, D. B.; DO VALE, A. T. Balanço energético da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar e aspectos da produção brasileira atual. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 7, n. 3, p. 399-412, 2019.

APPIAH-NKANSAH, N. B. et al. A review of sweet sorghum as a viable renewable bioenergy crop and its techno-economic analysis. *Renewable Energy*, 2019.

ASO, S. N. et al. Biogasification of Cassava Residue for On-Site Biofuel Generation for Food Production with Potential Cost Minimization, Health and Environmental Safety Dividends. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, v. 38, n. 4, p. 10, Jul 2019.

BAHAJI, A. et al. Starch biosynthesis, its regulation and biotechnological approaches to improve crop yields. *Biotechnology Advances*, v. 32, n. 1, p. 87-106, 2014.

BRINKMAN, M. L. et al. Interregional assessment of socio-economic effects of sugarcane ethanol production in Brazil. *Renewable and sustainable energy reviews*, v. 88, p. 347-362, 2018.

BUCHANAN, B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*. 2ª Edição. West Sussex, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2015.

CAMPOS, B. B. et al. ELEPHANT GRASS (*Pennisetum purpureum* Schumach) IS A PROMISING FEEDSTOCK FOR ETHANOL PRODUCTION BY THE THERMOTOLERANT YEAST *Kluyveromyces marxianus* CCT 7735. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v. 36, n. 1, p. 43-49, 2019.

CAZÓN, P.; VELAZQUEZ, G.; RAMÍREZ, J. A.; VÁZQUEZ, M. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, v. 68, p. 136-148, 2017.

CHAVES, P. P. N. et al. Reação de genótipos de batata-doce a nematóides de galhas em condições de temperatura elevada. *Bioscience Journal*, v. 29, n. 6, 2013.

CHERUBIN, M. R. et al. Sugarcane straw removal: Implications to soil fertility and fertilizer demand in Brazil. *Bioenergy Research*, v. 12, n. 4, p. 888-900, 2019.

CHU, Q. et al. Two-stage pretreatment with alkaline sulphonation and steam treatment of Eucalyptus woody biomass to enhance its enzymatic digestibility for bioethanol production. *Energy conversion and management*, v. 175, p. 236-245, 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB. Análise mensal: milho Brasília, DF. Out. 2018a.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar - Safra 2017/18. Brasília, DF: Conab, v. 4, n. 4, quarto levantamento, abr. 2018b.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB. Perspectivas para agropecuária -Safra 2018/2019. Brasília, DF: Conab, v. 6, ago. 2018c.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB. Perspectivas para agropecuária -Safra 2019/2020. Brasília, DF: Conab, v. 7, out. 2019a

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar – Safra 2019/2020. Brasília, DF: Conab, v. 6, n. 3, terceiro levantamento, dez. 2019b.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB. Acompanhamento da safra brasileira grãos-Safra 2018/2019. Brasília, DF: Conab, v. 6, n. 7, sétimo levantamento, abril 2019c.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar – Safra 2019/2020. Brasília, DF: Conab, v. 6, n. 4, quarto levantamento, abril 2020.

COSTA, D. et al. Life Cycle Assessment of Bioethanol Production from Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) in an Experimental Plant. *BioEnergy Research*, v. 11, n. 3, p. 715-725, 2018.

DAMAY, J. et al A novel hybrid first and second generation hemicellulosic bioethanol production process through steam treatment of dried sorghum biomass. *Bioresource technology*, v. 263, p. 103-111, 2018.

DE LAPORTE, A. V.; RIPPLINGER, D. G. Economic viability of energy beets (*Beta vulgaris*) as advanced biofuel feedstocks. *Industrial crops and products*, v. 111, p. 254-260, 2018.

DE OLIVEIRA B. R. et al. Changes in quantity and quality of soil carbon due to the land-use conversion to sugarcane (*Saccharum officinarum*) plantation in southern Brazil. *Agriculture, ecosystems & environment*, v. 240, p. 54-65, 2017.

DE SANTANA, W. R. et al. Identificação agronômica de genótipos de batata-doce em banco de germoplasma para fins industriais de etanol carburante. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v.7, n.1, p.31-34, 2013.

DE OLIVEIRA, M. H. R. et al. Gestão dos resíduos pós colheita da cana-de-açúcar no cerrado: uso da palhada versus contribuição econômica/Management of waste after harvesting sugarcane in the cerrado: use of strawing versus economic contribution. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 1, p. 3406-3421, 2020.

DIALLO, B. et al. Produção de biomassa, composição química e produção teórica de etanol para diferentes genótipos de sorgo energético cultivados em terras marginais da China. *Culturas e produtos industriais*, v. 137, p. 221-230, 2019.

DONG, C. et al. Feasibility of high-concentration cellulosic bioethanol production from undetoxified whole Monterey pine slurry. *Bioresource technology*, v. 250, p. 102-109, 2018.

DOS SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. Conversão e balanço energético de sistemas de produção para cereais de inverno, sob plantio direto. Embrapa Trigo-Capítulo em livro científico (ALICE), 2010.

ECKERT, C. T. et al. Maize ethanol production in Brazil: characteristics and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 82, p. 3907-3912, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Cultura da batata-doce. Embrapa Hortaliças, jun./2008. (Sistemas de produção, 6) ISSN 1678-880X Versão Eletrônica. 2008. Disponível em: <http://www.cnph.embrapa.br/cultivares/bat-doce.htm>. Acesso em: 13 mar. 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Indicações de Aspectos Tecnológicos sobre o Bioetanol de Matéria-prima Amilácea. Embrapa Informática Agropecuária Campinas, SP. 2009. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/581052/1/doc941.pdf>. Acesso em 23 jan. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Cenários territoriais para 15 produtos agroenergéticos. 2012a. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/953669/1/DOC12.pdf>. Acesso em 31 maio 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Soluções tecnológicas: Capim Elefante - BRS Kurumi. 2012b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/9/capim-elefante---brs-kurumi>. Acesso em 29 maio 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Cultivo de eucalipto em propriedades rrais: diversificação da produção e renda. 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/121607/1/Apostila-Serie-TT-Eucalipto.pdf>. Acesso em 26 maio 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Fepagro e Embrapa lançam nova cultivar de batata-doce na Expoagro. 2016a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/10803441/fepagro-e-embrapa-lancam-nova-cultivar--de-batata-doce-na-expoagro>. Acesso em 10 jan. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Nova cultivar de capim-elefante apresenta produtividade 30% maior. 2016b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17002039/nova-cultivar-de-capim-elefante-apresenta-produtividade-30-maior>. Acesso em 29 maio 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Sistema de produção de cana-de-açúcar para agricultura familiar. Alternativas para a diversificação da Agricultura familiar

de Base Ecológica, 2017a. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/168067/1/Sergio-dos-Anjos-Documento-443-web.pdf>. Acesso em 18 jan. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Soluções tecnológicas: Silagem de Capim elefante – alto rendimento e baixo custo. 2017b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/4790/silagem-de-capim-elefante--alto-rendimento-e-baixo-custo>. Acesso em 29 maio 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA -EMBRAPA. Visão 2030 - o futuro da agricultura brasileira. Embrapa, p. 212, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Vis%C3%A3o+2030+-+o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a-8cbf-af8e89d62829?version=1.1>. Acesso em 15 jan. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA –EMBRAPA. SÉRIE DESAFIOS DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO (NT2) Milho - Caracterização e Desafios Tecnológicos. 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195075/1/Milho-caracterizacao.pdf>. Acesso em 24 jan. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA-EPE. Plano decenal de expansão de energia 2026: Oferta de Biocombustíveis. 2017. Disponível em: http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/topico-74/Cap8_Texto.pdf. Acesso 22 jan. 2020.

ENCISO, J. et al. Energy sorghum production under arid and semi-arid environments of Texas. *Water*, v. 11, n. 7, p. 1344, 2019.

ENGEL, J. B.; AMBROSI, A.; TESSARO, I. C. Development of a Cassava Starch-Based Foam Incorporated with Grape Stalks Using an Experimental Design. *Journal of Polymers and the Environment*, v. 27, n. 12, p. 2853-2866, 2019.

FELIPE, F. I.; ALVES, L. R. A.; VIEIRA, R. M. Fécula de mandioca Produção na Tailândia versus Brasil. *Mercado & Negócios*. 2013.

FIERRO, A. et al. Multi-scale integrated assessment of second generation bioethanol for transport sector in the Campania Region. *Journal of Cleaner Production*, v. 217, p. 409-422, 2019.

FONTOURA, C. F.; BRANDÃO, L. E.; GOMES, L. L. Elephant grass biorefineries: towards a cleaner Brazilian energy matrix?. *Journal of Cleaner Production*, v. 96, p. 85-93, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS-FAO. Statistical Databases. Disponível em: <http://www.fao.org/>. Acesso em: 3 set. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS-FAO. BSF Project - Fourth Cycle. Disponível em: <http://www.fao.org/plant-treaty/areas-of-work/benefit-sharing-fund/projects-funded/bsf-details/fr/c/1198877/?Iso3=png>. Acesso em 22 de jan. 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS-FAO. Commodities by country. Disponível em: http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/commodities_by_country. Acesso em 7 jan. 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS-FAO. Estatística Banco de Dados da Food and Agriculture Organization das Nações Unidas. Roma, Itália, 2016. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/home/E>. Acesso em: 20 set. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS-FAO. FAO no Brasil. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1195175/>. Acesso em 24 jan. 2020.

GABISA, E. W.; BESSOU, C.; GHEEWALA, S. H. Life cycle environmental performance and energy balance of ethanol production based on sugarcane molasses in Ethiopia. *Journal of Cleaner Production*, v. 234, p. 43-53, 2019.

GŁĄB, L. et al. Comparison of the energy efficiency of methane and ethanol production from sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) with a variety of feedstock management technologies. *Biomass and Bioenergy*, v. 129, p. 105332, 2019.

GOLDEMBERG, J. Atualidade e perspectivas no uso de biomassa para geração de energia. *Revista Virtual Química*, v. 9, n. 1, p. 15-28, 2017.

HAQ, I. U. et al. Enzymatic hydrolysis of *Saccharum officinarum* lignocellulosic biomass by genetically modified hyperthermophilic cellulases. *Pakistan Journal of Botany*, v. 52, n. 1, p. 311-315, 2020.

INTARAMAS, Kanpichcha et al. Sequential catalytic-mixed-milling and thermohydrolysis of cassava starch improved ethanol fermentation. *Food and bioproducts processing*, v. 114, p. 72-84, 2019.

JOHNSTON, D. J.; MOREAU, R. A. A comparison between corn and grain sorghum fermentation rates, distillers dried grains with solubles composition, and lipid profiles. *Bioresource technology*, v. 226, p. 118-124, 2017.

JONKER, J. G. et al. Economic performance and GHG emission intensity of sugarcane-and eucalyptus-derived biofuels and biobased chemicals in Brazil. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, v. 13, n. 4, p. 950-977, 2019.

JÚNIOR, E. A. B. et al. Briquetagem dos resíduos dos processamentos mecânico e químico de *Pinus* spp. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 36, n. 3, p. 26522, 2019.

JUTAKRIDSADA, P. et al. Bioconversion of *Saccharum officinarum* Leaves for Ethanol Production Using Separate Hydrolysis and Fermentation Processes. *Waste and biomass valorization*, v. 10, n. 4, p. 817-825, 2019.

KHAN, M. F. et al. Genetic modification of *Saccharum officinarum* for herbicide tolerance. *Cytology and Genetics*, v. 53, n. 3, p. 239-249, 2019.

KHATIWADA, D. et al. Energy and GHG balances of ethanol production from cane molasses in Indonesia. *Applied Energy*, v. 164, p. 756-768, 2016.

KUMAR, D. et al. Stability analysis for cane and sugar yield of advanced sugarcane (*Saccharum*

officinarum) genotypes. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 2017.

LIMA E SILVA, L. F. et al. Balanços energético e econômico para produção de etanol a partir de batata-doce. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 54, 2019.

LIMA, M. A. et al. Effects of pretreatment on morphology, chemical composition and enzymatic digestibility of eucalyptus bark: a potentially valuable source of fermentable sugars for biofuel production—part 1. *Biotechnology for biofuels*, v. 6, n. 1, p. 75, 2013.

LUCCHESI, A. A. SUGARCANE (In Brazilian). In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Ed.). *Ecophysiology of extractive crops: sugarcane, rubber, coconut, oil palm and olive*. Piracicaba: Cosmópolis Stoller do Brasil, 2001. v. 1. p. 13-45.

MARTINS, E. C. A. et al. Variabilidade fenotípica e divergência genética em clones de batata doce no estado do Tocantins. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, n. 4, p. 691-697, 2012.

MAGALHÃES, M. A. de et al. Estimativas de massa e energia de diferentes materiais genéticos de eucalipto. *Revista Árvore*, v. 41, n. 3, 2017.

MAZZARELLA, V. N. G.; SEGUCHI, H. J. M.; FERREIRA, P. H. Balanço energético do capim elefante vs eucalipto. *Engineering Sciences*, v. 3, n. 1, p. 19-36, 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO-MAPA. Ministério da Agricultura aprova plano nacional de florestas plantadas para fortalecer o segmento no Brasil. 2019. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/noticias/dia-mundial-do-meio-ambiente>. Acesso em 27 jan. 2020.

MIRANDA, A. S. et al. Yield and technological performance of sugarcane cultivars grown under Af climate conditions. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 41, n. 1, p. 73-82, 2020.

MIRANDA, R. A. de. Uma história de sucesso da civilização. *A Granja*, v. 74, n. 829, p. 24-27, jan. 2018.

MOMENTÉ, V. G. et al. Seleção de cultivares de batata-doce adaptados à produção de biomassa, via programa de melhoramento, visando à produção de álcool no estado do Tocantins. *Horticultura brasileira*, v. 22, n. 2, 2004.

MOODLEY, P.; KANA, E. G. Optimization of xylose and glucose production from sugarcane leaves (*Saccharum officinarum*) using hybrid pretreatment techniques and assessment for hydrogen generation at semi-pilot scale. *International journal of hydrogen energy*, v. 40, n. 10, p. 3859-3867, 2015.

MOREIRA, A.; SANTOS, M. Z.; FAVARÃO, S. C. M. Características agronômicas de cultivares de milho para produção de mini milho. *Revista Em Agronegócios e Meio Ambiente*, v. 7, n. 3, p. 633-643, 2014.

NIU, D. et al. Preparation of maltotriitol-rich malto-oligosaccharide alcohol from starch. *Process Biochemistry*, v. 52, p. 159-164, 2017.

OKADA, Y. et al. Estudos de Associação Geral do Genoma (GWAS) para Resistência ao Rendimento

e ao Gorgulho em Batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). *Relatórios de células vegetais*, v. 38, n. 11, p. 1383-1392, 2019.

OLIVEIRA, L. M.; SERRA, J. C. V.; OLIVEIRA, K. B. M. Balanços energéticos da produção de etanol para diferentes matérias primas. *Geoambiente*, Jataí, n. 22, 2014.

ORTEGA-BLU, R. A. et al. Biocombustibles en Chile. I. Identificación y balance energético de la producción de materias primas y de biocombustibles. *Agrociencia*, v. 44, n. 6, p. 611-622, 2010.

PASSOTH, Volkmar; SANDGREN, Mats. Biofuel production from straw hydrolysates: current achievements and perspectives. *Applied microbiology and biotechnology*, v. 103, n. 13, p. 5105-5116, 2019.

POONSRISAWAT, A. et al. Simultaneous saccharification and viscosity reduction of cassava pulp using a multi-component starch-and cell-wall degrading enzyme for bioethanol production. *3 Biotech*, v. 7, n. 5, p. 290, 2017.

QIN, Y. et al. Development of active and intelligent packaging by incorporating betalains from red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel into starch/polyvinyl alcohol films. *Food Hydrocolloids*, v. 100, p. 105410, 2020.

RIVERA-BURGOS, L. A.; VOLENEC, J. J.; EJETA, G. Biomass and Bioenergy Potential of Brown Midrib Sweet Sorghum Germplasm. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, 2019.

ROMANI, A. et al. Valorization of *Eucalyptus nitens* bark by organosolv pretreatment for the production of advanced biofuels. *Industrial crops and products*, v. 132, p. 327-335, 2019.

RUKUNDO, P. et al. Storage root formation, dry matter synthesis, accumulation and genetics in sweet potato. *Australian Journal of Crop Science*, v. 7, n. 13, p. 2054, 2013.

SELVAKUMAR, P.; KAVITHA, S.; SIVASHANMUGAM, P. Optimization of process parameters for efficient bioconversion of thermo-chemo pretreated *Manihot esculenta* crantz YTP1 stem to ethanol. *Waste and Biomass Valorization*, v. 10, n. 8, p. 2177-2191, 2019.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS- SEBRAE. Hortigranjeiros no Estado de Alagoas: Uma Análise evolutiva da comercialização dentro do IDERAL/CEASA-AL. 2017.

SILVEIRA, M. A. Batata-doce: uma nova alternativa para a produção de etanol. Instituto Euvaldo Lodi/Núcleo Central. Álcool combustível. (Série indústria em perspectiva). Brasília: IEL/NC, p. 109-122, 2008.

SILVEIRA, M. A. et al. A cultura da batata-doce como fonte de matéria-prima para o etanol. *Boletim Técnico UFT*. Palmas -TO, 2014. p. 45.

SIVAMANI, S.; BASKAR, R.; CHANDRASEKARAN, A. P. Response surface optimization of acid pretreatment of cassava stem for bioethanol production. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, p. e13335, 2019.

SWAIN, M. R.; MISHRA, J.; THATOI, H. Bioethanol 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*, v. 56, n. 2, p. 171-179, 2013.

TABORDA, L. W. et al. Evaluation of the technical and economic feasibility of ethanol production in a pilot plant using sweet potatoes. *Custos e@groenegócio*, v. 11, n. 1, p. 245-262, 2015.

TSAI, M. et al. Evaluation of different pretreatments of Napier grass for enzymatic saccharification and ethanol production. *Energy Science & Engineering*, v. 6, n. 6, p. 683-692, 2018.

TOYAMA, D. et al. A novel β -glucosidase isolated from the microbial metagenome of Lake Poraquê (Amazon, Brazil). *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Proteins and Proteomics*, v. 1866, n. 4, p. 569-579, 2018.

UNIÃO NACIONAL DA BIOENERGIA-UDOP. Cana-de-açúcar Balanço da safra 2019/2020 indica expectativa de produção recorde de etanol no Centro-Sul. 2019. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2019/12/17/balanco-da-safra-2019-2020-indica-expectativa-de-producao-recorde-de-etanol-no-centro-sul.html>. Acesso em 26 maio 2020.

UNIÃO NACIONAL DA BIOENERGIA-UDOP. Etanol. 2020. Disponível em: <https://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1178162>. Acesso em 10 jan.2020.

VERARDI, A. et al. Improving the enzymatic hydrolysis of *Saccharum officinarum* L. bagasse by optimizing mixing in a stirred tank reactor: Quantitative analysis of biomass conversion. *Fuel Processing Technology*, v. 149, p. 15-22, 2016.

WEILER, D. A. et al. Carbon Balance in Sugarcane Areas Under Different Tillage Systems. *BioEnergy Research*, v. 12, n. 4, p. 778-788, 2019.

WIDODO, Y.; WAHYUNINGSIH, S.; UEDA, A. Sweet potato production for bio-ethanol and food related industry in Indonesia: Challenges for Sustainability. *Procedia Chemistry*, v. 14, p. 493-500, 2015.

ZABED, H. et al. A comparative evaluation of agronomic performance and kernel composition of normal and high sugary corn genotypes (*Zea mays* L.) grown for dry-grind ethanol production. *Industrial Crops and Products*, v. 94, p. 9-19, 2016.