



Principais cadeias produtivas para o desenvolvimento da agroenergia no Norte do Brasil: limitações e perspectivas

Micaele Rodrigues de Souza^{a*}, Gabriel Duarte de Oliveira^a, Rosinete Nogueira de Sousa^a, Tamyres Siglya Sousa de Almeida^a, Ana Elisa Esteves dos Santos^a, Solange Aparecida Sággio^a

^a Universidade Federal do Tocantins, Brasil

* Autor correspondente (micaele.souzasp@gmail.com)

INFO

Keywords

bioenergy
feedstock
ethanol
biodiesel

ABSTRACT

Main production chains for the development of agroenergy in Northern Brazil: limitations and perspective. Research focused on bioenergy has been intensified in an attempt to meet the targets which were defined through the Kyoto Protocol (1997). Representing one of the branches of bioenergy are biofuels and among the links in the biofuel production chains, the agricultural link stands out for being the main component of the formulation of the final fuel price, thus there is a need to seek raw materials that collaborate to reduce prices, in addition to enabling the decentralization of production. The northern region of the country specifically, holds a wide variety of species which present themselves as viable options for reducing dependence on fossil fuels. Thus, studies aimed at the study of these chains and, especially, these links, are necessary in order to verify limiting factors as well as potential factors. Therefore, the objective was to elaborate a bibliographic review on the biodiesel and ethanol production chain, both focused on the limiting factors, potentials and perspectives for the development of agroenergy in the North region. It is concluded that the perspectives are positive for the development of agroenergy in the North region, through the verified cultures. However, factors contribute to the limitation of bottlenecks that demand technological development, planning and government incentives, in order to expand a biofuels production chain in the North region.

RESUMO

Pesquisas voltadas para a bioenergia foram intensificadas na tentativa de cumprir as metas definidas pelo Protocolo de Kyoto (1997). Os biocombustíveis representam um dos ramos da bioenergia e entre os elos da cadeia produtiva dos biocombustíveis, o elo agrícola se destaca por ser o principal componente da formulação do preço final do combustível, havendo assim a necessidade de se buscar matérias-primas que colaborem para a redução dos preços, além de possibilitar a descentralização da produção. A região Norte do Brasil, especificamente, detém uma ampla variedade de espécies, que se apresentam como opções viáveis para a redução da dependência de combustíveis fósseis. Desta forma, trabalhos voltados para o estudo das cadeias do biodiesel e do etanol, principalmente desses elos, são essenciais, a fim de verificar fatores limitantes, bem como suas potencialidades. Portanto, objetivou-se elaborar uma revisão bibliográfica sobre a cadeia produtiva do biodiesel e etanol, visando apontar os principais fatores limitantes, potenciais e perspectivas para o desenvolvimento da agroenergia na região Norte. Sendo possível concluir que as perspectivas são positivas para o desenvolvimento da agroenergia na região Norte, por meio das culturas descritas. No entanto, fatores contribuem para a limitação de gargalos que demandam desenvolvimento tecnológico, planejamento e incentivo governamental, a fim de expandir a cadeia produtiva de biocombustíveis na região Norte.

Received 27 February 2021; Received in revised form 20 April 2021; Accepted 07 October 2021



INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com os efeitos provenientes do uso de combustíveis fósseis, em razão de sua grande dependência, tem proporcionado nas últimas duas décadas, estudos mais intensos sobre biocombustíveis, bem como a diversificação de matérias-primas (Cremones et al., 2015; Da Silva et al., 2015; Da Silva et al., 2019). A diversificação de matérias-primas tem entre algumas de suas vantagens a descentralização da produção, o que permite maior participação do pequeno agricultor, como também reduz o preço do produto final, além de incluir na cadeia produtiva, regiões com diferentes condições edafoclimáticas (Da Silva et al., 2015). Outra vantagem de grande relevância que resulta em maior diversidade de matérias primas é a não competição entre o uso de culturas para fins alimentícios e bioenergéticos (Gerhardt e Santos, 2015; Ramos et al., 2017).

Compreende-se como cadeia produtiva a soma de agentes e atividades econômicas que interagem gradualmente desde a formação do produto, como também seu processamento, comercialização, além das unidades de apoio. Assim, é importante entender a dependência da integração de forma estratégica dos elos que constituem a cadeia do biodiesel e do etanol para se alcançar um crescimento sustentável (ME, 2017).

O Brasil reúne vantagens comparativas que lhe permitem ambicionar a liderança do mercado internacional da cadeia de biocombustíveis e implementar ações de promoção dos produtos energéticos derivados da agroenergia. O país encontra-se em situação privilegiada por situar-se, predominantemente, na faixa tropical e subtropical do planeta, recebendo intensa radiação solar, pela sua extensão e localização geográfica; também apresenta diversidade de clima e detém um quarto das reservas superficiais e subsuperficiais de água doce (MAPA, 2006).

A região Norte do Brasil, em especial, é caracterizada por sua vasta extensão, com 42,27% do território nacional, no qual apresenta um clima equatorial, que é caracterizado por altas temperaturas ao longo de todo o ano e é constituída por sete estados: Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins, onde o bioma predominante é o da Amazônia, com exceção do estado do Tocantins que apresenta apenas 8,99% do seu território neste bioma e o restante no Cerrado (EMBRAPA, 2016).

Por deter a maior extensão territorial, mesmo que parte desse território seja constituído por floresta nativa, a região Norte reúne uma ampla variedade de espécies, como por exemplo, palmáceas que se apresentam como opções viáveis para a redução da dependência de combustíveis

fósseis (Balan et al., 2019; Makkawi et al., 2019).

Entre os elos das cadeias produtivas do biodiesel e etanol, o elo agrícola se destaca por ser o principal componente da formulação do preço do biodiesel e etanol, pois, na maior parte dos casos, respondem por um percentual de 80 a 85% do preço final do combustível (Torres e Chaves, 2019).

Desta forma, trabalhos voltados para o estudo das cadeias do biodiesel e do etanol, sobretudo, desses elos, são necessários. Assim, objetivou-se elaborar uma revisão bibliográfica sobre a cadeia produtiva do biodiesel e etanol, visando apontar os principais fatores limitantes, potenciais e perspectivas para o desenvolvimento da agroenergia da região Norte.

MATERIAL E MÉTODOS

A busca de dados foi realizada por meio das plataformas *Web of Science* e *Scopus*, utilizando os seguintes termos: ethanol; biodiesel; energy; biofuel; feedstock; sucrose e starch. Foram também utilizados o nome científico e comum (em inglês) das culturas aqui pesquisadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cadeia produtiva de etanol

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de etanol (Coleti e Oliveira, 2019), atrás apenas dos Estados Unidos. O impulso da produção do etanol no país se deu com a criação do Programa Nacional do Alcool (Pro-Alcool), criado em 1975, logo após a crise do petróleo (1973-1974) (Guimarães et al., 2019). O intuito da criação desse programa era estimular a produção de álcool como alternativa à gasolina, pois, além de ser um combustível de origem renovável, polui menos durante a combustão e, ainda, detém um preço inferior em relação aos demais combustíveis (Serpa et al., 2019).

A principal matéria-prima utilizada para a produção desse biocombustível no país, é a cana-de-açúcar, no entanto várias outras culturas vêm se mostrando atrativas para tal finalidade (Márquez et al., 2020). O tipo de matéria-prima empregada na geração do etanol determina o seu processo de produção (Figura 1), sendo mais oneroso, quando se faz uso de fontes amiláceas e celulósicas, por exigirem etapas como a de hidrólise, que é essencial para a quebra das moléculas, resultando em açúcares fermentáveis (Pratto et al., 2020).

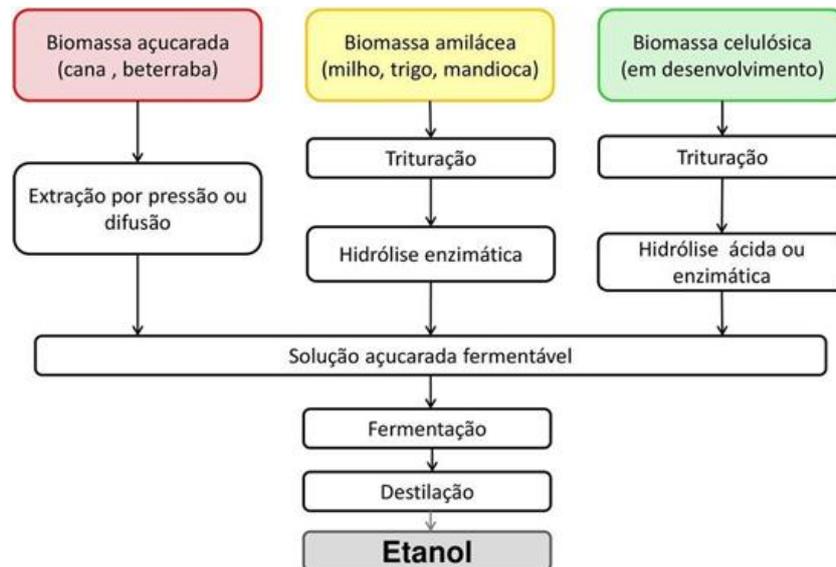


Figura 1 - Fluxograma dos processos para a produção de etanol a partir de diferentes matérias-primas. Fonte: Processos químicos e industriais II - USP, 2011.

Cultura da mandioca

Visando à disponibilidade de matéria-prima, para a viabilidade da produção de etanol, a cultura da mandioca (*Manihot esculenta*) é indicada como uma boa opção para a região Norte, visto que seu cultivo nesta região é considerado constante e representativa (EMBRAPA, 2016). Além de ser uma das principais culturas de raízes e tubérculos dos trópicos; bem adaptada às diversas condições ambientais e do solo e a uma ampla variedade de sistemas agrícolas (FAO, 2019). Também se apresenta como uma cultura pouco exigente em nitrogênio (EMBRAPA, 2011), que corresponde ao maior conteúdo energético dos fertilizantes (Salla et al., 2010). A espécie se encontra entre os cultivos amiláceos de grande potencial e competitividade na produção de biocombustíveis renováveis (García-Velasquez et al., 2020).

Tanto no estado do Acre como em Roraima, a cultura da mandioca é o produto de maior representatividade na produção agrícola, e o estado do Pará é indicado como o maior produtor nacional da cultura (Fulgêncio, 2015; Correia, 2017; Soares, 2018).

Pesquisas voltadas ao custo energético da produção agrícola e industrial de um litro de etanol, a partir da cultura da mandioca, mostram que, como matéria-prima amilácea, a mandioca apresenta características significativas e até mesmo superiores em relação a outras fontes energéticas (Cabello, 2006; Salla et al., 2010).

Contudo, assim como no uso de outras amiláceas para a obtenção de etanol, o processo de hidrólise/sacarificação/tratamento do caldo é o mais representativo, quanto aos custos energéticos

nas etapas industriais, podendo ser apontado como um dos gargalos (Santiago e Rodrigues, 2017).

Outro fator limitante para o uso da cultura, especialmente na região Norte, é o fato de ela ser amplamente empregada na dieta alimentar dos nortistas (EMBRAPA, 2016), o que gera uma preocupação na oferta do produto. Entretanto a utilização dos resíduos, como a casca e a parte aérea, podem ser viáveis, mostrando-se como matéria-prima para a produção não somente de etanol, mas também de eletricidade, visto que comercialmente é feito uso somente da raiz da mandioca, seja para consumo in natura ou fabricação de farinha ou fécula (Serra et al., 1978; Boog et al., 2007; Pattiya, 2011; Sivamani et al., 2018). Estudos realizados por Aso et al. (2019) estabeleceram que resíduos de cascas, provenientes de 1000 kg de raiz de mandioca, podem gerar energia suficiente para processar 1000 kg de mandioca, tornando a cadeia mais sustentável.

No território demarcado pela região Norte, há cinco usinas/destilarias (UDOP, 2020). Nenhuma dessas usinas/destilarias, assim como as demais distribuídas pelo país, faz uso da mandioca para a produção de etanol, sendo, então, necessária a implantação de usinas com tecnologia apropriada para atender as necessidades desse processo, ou a adequação das usinas já existentes, uma vez que o processo entre fontes açucaradas e amiláceas diferem-se somente nas etapas iniciais (Figura 1).

Cultura da batata-doce

A batata-doce (*Ipomoea batatas* L. (Lam.)) é uma planta de origem ocidental adaptada ao clima tropical (Gonçalves, 2018). O Brasil é o principal produtor da América do Sul com uma produção de

aproximadamente 805,412 mil toneladas (IBGE, 2019). Ademais, a batata-doce é apontada como uma opção de matéria-prima para a produção de etanol na região Norte (Silveira et al., 2008), pois é capaz de produzir grandes quantidades de biomassa em um curto período de tempo (4 a 5 meses). Dessa maneira, a cultura permite o cultivo de até 2 ciclos reprodutivos por ano. Logo, a sua produtividade global por ano pode ser superior à de outras culturas agroenergéticas que necessitam de um período maior para produzirem como a cultura da cana-de-açúcar (12 e 18 meses) e a da mandioca (10 a 20 meses) (Magalhães et al., 2012). Além do alto potencial produtivo, a cultura apresenta aspecto rústico, possui ampla adaptação climática e é uma espécie de fácil produção, tolerante à seca e baixo custo produtivo (Cavalcante et al., 2012). Além disso, tendo em vista a fácil flutuação de preços do etanol no mercado, pelo grande porte brasileiro de produção de etanol, recorrente da cana-de-açúcar, a produção de batata-doce poderá ajudar a estabilizar o mercado, com a vantagem de ser cultivada em áreas restritas e nas entre safras da cana-de-açúcar (Erthal et al., 2018).

Estudos voltados para o custo energético da produção, em escala agrícola e industrial de etanol a partir da cultura da batata-doce, demonstram que, como fonte de matéria-prima amilácea, a batata-doce pode suprir de forma expressiva a produção de etanol com viabilidade econômica. É uma alternativa que se compreende como sustentável (Risso, 2014; Erthal et al., 2018). Magalhães et al. (2012), avaliando a viabilidade econômica da cadeia produtiva do etanol, a partir da batata-doce, demonstraram que, na produção primária, o cultivo da batata-doce apresenta maior vantagem que o da cana-de-açúcar.

Todavia, da mesma maneira que outras amiláceas, para a obtenção de etanol, o processo de hidrólise/sacarificação/tratamento do caldo é a etapa que mais onera a produção (Salla et al., 2010). Quanto aos custos energéticos nas etapas industriais, apresenta claras desvantagens com relação ao processamento, a partir da cana-de-açúcar, que, de fato, ainda tem uma rentabilidade unitária e maiores ganhos de escala (Erthal et al., 2018; Maino et al., 2019). Por essa razão, são necessários mais estudos com relação às técnicas de hidrólise do material, eficiência energética, produção da cultura, fermentação e custos desses processos (Risso, 2014).

Não obstante, apesar de haver cinco usinas/destilarias na região Norte, nenhuma delas faz uso da batata-doce para a produção de etanol. Dessa maneira, existe a mesma necessidade de implementação ou adaptação das usinas para

atender as exigências do processo como foi citado para cultura da mandioca.

A falta de herbicidas seletivos eficientes é outro fator limitante de produção, tendo em vista as dificuldades para o controle manual e o mecanizado das plantas infestantes da cultura. Desta forma, a ausência de logística pode interferir na produção de batata-doce em larga escala (Gonçalves, 2018).

Apesar de haver gargalos a serem superados, há a possibilidade real de uma expressiva produção de etanol pela cultura da batata-doce. A utilização de resíduos oriundos do processo de produção de biocombustível é viável, a produção de etanol por meio da batata-doce é uma alternativa que se compreende como sustentável. Assim sendo, a implantação de microusinas para a produção de etanol torna-se uma alternativa exequível em pequenas propriedades, tendo como intuito a criação de cooperativas e APLs (Arranjos Produtivos Locais) de etanol, havendo assim um fortalecimento da agricultura familiar (Maino et al., 2019).

Cultura do sorgo

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), é uma monocotiledônea da família poaceae. Apresenta-se como uma espécie bem adaptada a ambientes de elevados estresses abióticos, especialmente de temperatura do ar e umidade do solo, sendo esse comportamento de rusticidade uma vantagem em relação a outras espécies comerciais (Nascimento et al., 2017; Fernandes et al., 2018).

Deste modo, é considerada uma matéria-prima de grande potencial para a produção de etanol, pois possui altos níveis de açúcares fermentáveis, como sacarose, glicose e frutose, além de elevado rendimento de biomassa verde (Nuanpeng et al., 2018). Sua composição inerente ao setor de bioenergia condiz com uma série de parâmetros indicados no quadro 1.

A classificação do sorgo, em geral, dá-se em quatro grupos: granífero, sacarino, forrageiro e vassoura (May et al., 2014). O sorgo sacarino, com características semelhantes à cana-de-açúcar, destaca-se pelo aproveitamento tanto do caldo, quanto do bagaço para a produção de etanol e, consequentemente, geração de energia na planta industrial (Durães et al., 2016; Silva et al., 2016).

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2020), a área total plantada de sorgo no Brasil corresponde a 835,2 mil hectares, sendo que a produtividade estimada de grãos condizente à safra 2020/2021 corresponde a 3.111 kg/ha.

Quadro 1 – Parâmetros de interesse industrial para sorgo sacarino

*Parâmetros	Sorgo Sacarino
Brix Caldo	15 – 19
Pureza	60 -75
Fibra (%)	12 – 20
Sacarose caldo (%)	8 – 13
AR caldo (%)	1 – 3
Glicose caldo (%)	0,5 – 2
Frutose caldo (%)	0,5 – 1,5
ART caldo (%)	12 – 17
Amido caldo (%)	Até 0,5

Brix - indica a quantidade de sólidos solúveis presentes na amostra, em peso. Pureza - relação entre a porcentagem em massa de sacarose e a de sólidos solúveis contida em uma solução açucarada. Fibra - porcentagem em massa de matéria seca insolúvel presente na biomassa. AR (Açúcares Redutores) - determinam a quantidade de açúcar invertido, compreendendo glicose, frutose e demais substâncias redutoras presentes na amostra. ART (Açúcares Redutores Totais) - determinam a quantidade de açúcares redutores totais presentes na amostra, obtida pela hidrólise total da sacarose

Fonte: EMBRAPA (2012)

Na região Norte, o Tocantins destaca-se com maior área de cultivo da referida cultura, a produção já ultrapassa 40 mil toneladas do grão por ano. O aumento na produção tem impulsionado o mercado de exportação para Estados das regiões Nordeste, Centro Oeste e Centro Sul (CONAB, 2019).

Deste modo, a cadeia produtiva do sorgo tem auferido crescimento no setor agroenergético por suas diversas vantagens no sistema de produção, além de se justificar a posição de destaque da cultura, por reduzir a ociosidade das indústrias canaveiras na produção de etanol, ocupando o espaço de entressafra da cana-de-açúcar (Menezes et al., 2015; Parrella et al., 2017).

No entanto alguns entraves contribuem para que a cultura não se expanda na região Norte, como as dificuldades na comercialização e no armazenamento, tornando-se um produto marginal, assim como o controle de plantas daninhas, visto que a escassez de herbicidas registrados e o lento crescimento inicial da cultura tornam o manejo de plantas daninhas um dos pontos principais para o correto estabelecimento da cultura (Custódio e Karam, 2016; May et al., 2018).

Nesse contexto, outro empecilho é o pouco conhecimento sobre o material genético propício à área de cultivo, uma vez que tal fato pode gerar perdas de produtividade (EMBRAPA, 2015; Fernandes et al., 2018). Neste âmbito, o aumento dos rendimentos de biomassa e de etanol decorrem do desenvolvimento e do melhoramento de variedades e híbridos de sorgo sacarino e da adequada utilização de insumos no sistema de produção (Sousa e Parrella, 2018).

Entretanto as perspectivas para o maior desenvolvimento da cadeia produtiva do sorgo para a produção de etanol é favorável, visto que programas de melhoramento de cultivares de sorgo sacarino foram retomados no Brasil e, incluindo o potencial de contribuição de empresas privadas

produtoras de sementes, há uma crescente concepção de oferta no mercado, em um futuro próximo, o que geraria impactos positivos no aumento da operacionalidade das usinas e na oferta de etanol, além de um melhor aproveitamento de resíduos e coprodutos (Parrella et al., 2017).

Cadeia produtiva de biodiesel

De forma geral, o biodiesel tornou-se um biocombustível em potencial, em virtude das metas de redução de emissões de gases do efeito estufa (GEE) definidas pelo Protocolo de Kyoto, no final dos anos 90. Os principais países europeus, liderados pela França e Alemanha, impulsionaram o mercado de biodiesel (Miyamoto e Takeuchi, 2019).

No Brasil, em 2004, surgiu o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), com o intuito de incentivar maior participação de energias renováveis na matriz energética brasileira, visando implementar, de forma sustentável, técnica e econômica, a produção e o uso do biodiesel, com foco na inclusão social e no desenvolvimento regional (Vargas et al., 2017). Nesse panorama, a Lei 11.097 de 13 de janeiro de 2005 introduziu oficialmente o biodiesel na matriz energética brasileira, sendo que o percentual mínimo obrigatório de sua adição ao diesel derivado do petróleo foi fixado em 5% (Tapanes et al., 2013; Ribeiro et al., 2015).

Esse percentual deverá atingir a taxa de adição de 15% até 2023, conforme a Resolução CNPE nº 16 de 29 de outubro de 2018, que aborda sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final (CNPE, 2018). Dessa forma, a produção de matéria-prima é estimulada com o propósito de suprir a procura por óleos vegetais para a produção de biodiesel.

Atualmente, a cultura da soja desponta como a principal fonte de óleo para a produção de biodiesel

no Brasil (EMBRAPA, 2019). Além da soja, outras culturas como dendê, macaúba e babaçu podem ser produzidas na região Norte e são vistas como potenciais fontes de óleo para a produção de biodiesel, em razão de sua alta produtividade (Brandão e Schoneveld, 2015; Ponte et al., 2017).

Cultura da soja

A cultura da soja (*Glycine max*), atualmente, configura-se como a principal fonte de matéria-prima para a cadeia produtiva de biodiesel no Brasil sendo a oleaginosa mais produzida no País (USDA, 2020). Em 2020, as projeções iniciais apontam para a produção de até 125 milhões de toneladas (ANUÁRIO BRASILEIRO DA SOJA, 2019).

O seu sucesso pode ser atribuído, em parte, ao óleo de soja ser um subproduto do processamento do farelo de soja, possibilitando a diversificação de produtos e geração de vantagens econômicas. Consequentemente, a cultura da soja, além de líder na indústria de alimentação animal, tornou-se também um dos líderes mundiais no mercado de óleos vegetais (Gollo et al., 2010). No contexto nacional, a indústria processadora brasileira é fortemente adaptada à cultura da soja que corresponde a mais de 80% da produção de óleo vegetal no Brasil (EMBRAPA, 2019).

Além disso, as perspectivas para os próximos anos são animadoras. A associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais projeta, para a safra de 2020/2021, um aumento na produção, atingindo em torno de 133,7 milhões de toneladas. Ademais, o processamento de soja em grão deverá atingir 44,5 milhões de toneladas, volume significativo para a indústria brasileira (ABIOVE, 2020).

No contexto da região Norte, o estado de Tocantins apresenta potencial de crescimento de área, por possuir preços de terras mais baixos que o restante dos estados produtores, clima e a possibilidade de implantação de grandes áreas e o relevo favorável. Outros fatores como melhoria das condições de logística, aliados à perspectiva da redução de custos de transporte pelos projetos de implantação de novos modais de transporte: a Ferrovia Norte-Sul, em estágio mais avançado, e a hidrovia Araguaia-Tocantins, ainda na fase de análise da viabilidade de sua implantação, favorecem a região (Rodrigues e Lunckes, 2011).

Além da melhora da logística, pautas políticas, como a promoção do uso de carros a diesel e a liberação do óleo vegetal como combustível são elementos que se relacionam à dinâmica do mercado de energia. Elementos como desenvolvimento tecnológico dos veículos, níveis de emissões, novas tecnologias de produção de biocombustíveis e redução de preços seguramente farão parte das discussões acima referidas. Com a

grande oferta industrial existente no setor, o Governo está sendo pressionado a aprovar novos incrementos nos percentuais de mistura (Bueno et al., 2015).

Embora as perspectivas positivas para esta matéria-prima, pode-se citar o planejamento Governamental com um dos fatores limitantes da utilização da soja para produção de biodiesel na região Norte. Isso ocorre porque o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) buscou diversificar matérias-primas para a produção e, deste modo, priorizar culturas agroenergéticas específicas para cada região. No entanto, não se levou em conta, porém, a sua heterogeneidade. Logo usinas anteriormente projetadas, para produzir biodiesel pela mamona e dendê, utilizam a soja como matéria-prima atualmente. Demonstra, desta forma, um claro erro de planejamento (Zuniga, 2015).

Cultura do dendê

O dendê, conhecido cientificamente por *Elaeis guineensis*, é o fruto do dendezeiro (Brazilio et al., 2012). O azeite de dendê também chamado de óleo de palma é caracterizado como uma importante atividade econômica em países tropicais, como o Brasil, principalmente ao fazer referência à agroindústria na Amazônia, por ser um sistema agrícola ecologicamente estável, altamente valorizado e com produção sustentada (MAPA, 2018; SEDAP, 2020).

O Governo Federal reconhece o potencial do dendê na efetivação da produção de biocombustíveis na Amazônia, definindo-o como a espécie com aptidão para a região Norte, podendo ser utilizada no âmbito do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), (Brandão e Schoneveld, 2015). Contudo, apesar de constar como prioridade do PNPB para a região Norte, desde a sua criação em 2004, o dendê passou a receber investimentos mais consideráveis, a partir do lançamento do Zoneamento Agroecológico do Dendê e do Programa de Produção de Palma de Óleo, em 2010 (Glass, 2013).

Em países como a Malásia, a mistura de biodiesel de palma com diesel de petróleo tornou-se obrigatória em uma proporção de mistura de 10 % de biodiesel de palma (B10) (Ng e Yung, 2019). Atualmente a Indonésia é a maior produtora de óleo de palma, entretanto o Brasil apresenta grande potencial mundial para a produção desse óleo (Simas e Pereira, 2019), posicionando-se como 5º maior produtor mundial, e o Pará responde por 85% da produção nacional, seguido pelos Estados da Bahia (11%) e de Roraima (1%) (ABRAPALMA, 2018). Em plantios comerciais com cultivares de alto desempenho, sob condições climáticas

favoráveis e manejo adequado, são obtidas de 5 a 8 toneladas de óleo de palma por ha (MAPA, 2018).

O Brasil, ainda apresenta-se como um importador líquido que se dá pela necessidade que o país tem quanto a avanços importantes, em agendas de desenvolvimento tecnológico, regularização fundiária, crédito e melhoria da infraestrutura de armazenagem e transporte (MAPA, 2018).

Referindo-se ao setor de transporte e logística, verifica-se que o sucesso de um empreendimento depende desses e, atualmente, toda a região Norte conta com apenas três usinas de biodiesel e duas estão localizadas no Tocantins e uma em Rondônia (Biodieselbr, 2018).

O ciclo da cultura pode ser apontado também como um fator limitante, pois normalmente inicia sua produção no terceiro ano e com baixos níveis de produtividade, alcançando o ápice no sexto ou sétimo ano de cultivo. A falta de linhas de crédito adequadas a essa cultura acaba se apresentando como outro empecilho (BIODIESELBR, 2018).

Além disso, a cadeia produtiva do dendê possui elevada demanda de mão de obra, em comparação a outras oleaginosas, que possuem mecanização intensiva. O custo da mão de obra é um dos mais altos, em relação aos principais países produtores, o que eleva, significativamente, o custo de produção (MAPA, 2018).

Outro fator que tem grande impacto é a produção do dendê estar relacionada ao alto risco de desmatamento (BIODIESELBR, 2019), todavia a ABRAPALMA (2018) afirma que dos 44 países palmeiros, o Brasil possui a mais exigente lei ambiental e trabalhista e é o único a ter Zoneamento Agroecológico, para a cultura, o que permite o seu uso com respeito ao meio ambiente.

Portanto as perspectivas para o setor são otimistas. Pauta de discussões políticas, a promoção do uso de carros a diesel, além do potencial produtivo da palma, a legítima como alternativa (MAPA, 2018; SEDAP, 2020). Para isso, são necessários programas de melhoramentos voltados para o aperfeiçoamento do ciclo reprodutivo e redução do custo de mão de obra.

Cultura da macaúba

A *Acrocomia aculeata* (macaúba), como é mais conhecida, é uma palmeira rústica e está presente, em quase todo o território nacional (Teixeira et al., 2018), podendo ser encontrada em áreas abertas e relativamente secas, margens de rodovias, pastagens, áreas degradadas e consórcio com outras culturas como as perenes e anuais (Santos, 2016).

Seu fruto possui uma cor marrom amarelada, quando maduro (Costa e Oliveira, 2018) e é

composto por quatro partes: casca, polpa, endocarpo e a amêndoa. As partes que possuem um valor agregado maior são a amêndoa, que apresenta 68% de óleo, e a polpa que possui 60 % de óleo, sendo extraídos e destinados à produção de biodiesel (Lieb et al., 2019).

Além de ser utilizada para a produção de biodiesel, a referida cultura também pode ser empregada para fins alimentícios, tanto humano quanto animal e cosméticos, aproveitando-se tudo do processo da cadeia produtiva e, conseqüentemente, gera-se uma reduzida quantidade de resíduos, atestando assim a sua eficiência e economia (Da Silva et al., 2015).

Mesmo com todo o aproveitamento da macaúba, ainda existem pontos limitantes para o estabelecimento dessa cadeia produtiva. O principal fator limitante é o tempo em que a palmeira leva para produzir seus frutos, que, aproximadamente, correspondem a 3 a 5 anos, podendo chegar até 8 anos, para atingir a sua produção máxima, o que significa um longo período para o produtor obter o retorno financeiro (Costa et al., 2019). Assim sendo, há falta de linhas de crédito que se adequem às características dessa cultura, dessa forma, apresenta-se como mais um fator limitante, pois há uma grande diferença em relação ao período de produção para que o agricultor tenha o retorno financeiro e possa sanar seus empréstimos (Moreira e De Sousa, 2009).

Outro fator limitante dessa cultura é a falta de cultivo, em larga escala, que acaba não favorecendo a colheita de forma uniforme dos frutos, podendo resultar em sua perda ou na desuniformidade da maturação dos frutos coletados. Contudo, para que haja a coleta de forma uniforme, ainda é necessário o desenvolvimento de tecnologias para a realização da colheita e técnicas para tratamento pós-colheita (Fernández-Coppel et al., 2018).

Além disso, o material genético disponível da macaúba não foi domesticado, o que significa que ainda não há uma cultivar com um maior potencial de produtividade e teor de óleo e também que apresente um menor porte para facilitar a colheita (Miguel et al., 2016).

Cultura do babaçu

O babaçu é um tipo de palmeira da família botânica Arecaceae. Dentre as espécies de babaçu, as mais conhecidas e que têm o uso mais difundido são *Attalea phalerata* e *Attalea speciosa*. A palmeira pode medir entre 10-30 metros de altura e entre 20-50 cm de diâmetro (caule). Começa a dar frutos a partir do oitavo ano. Cada safra pode gerar entre 3 e 5 cachos, por planta, e cada cacho pode produzir de 300 a 500 cocos (Cazarra et al., 2012).

O fruto apresenta: epicarpo (camada mais externa e bastante rija), mesocarpo, endocarpo e amêndoas, sendo 3-4 por fruto (Sobrinho et al., 2015; Saraiva et al., 2019).

O babaçu é considerado a maior fonte oleífera do mundo em florestas nativas (Gouveia et al., 2017). O teor de óleo presente na amêndoa pode chegar a mais de 60% (Carrazza, et al., 2012), sendo que essa porcentagem, também, é a quantidade de amido geralmente presente na farinha do mesocarpo (Pavlak et al., 2007).

O óleo apresenta excelentes propriedades físico-químicas que favorecem sua utilização como matéria-prima para a produção de biodiesel (Nascimento et al., 2009; Silva et al., 2014). Seu composto majoritário é o ácido láurico, o que é vantajoso, quando se fala em produção do biodiesel, por facilitar a reação de transesterificação, já que ésteres láuricos são compostos de cadeias curtas que interagem mais eficaz e efetivamente com o agente transesterificante e com o catalisador (Lima et al., 2007).

Além de ser empregado como matéria-prima, para a produção de biodiesel (Ponte et al., 2017), estudos apontam que o fruto também pode ser utilizado para a produção de etanol, por meio do uso do mesocarpo (Pavlak et al., 2007; Cardoso et al., 2018). O endocarpo também pode dar origem ao carvão, enquanto que da amêndoa, além do óleo, gera a torta (que é o que resta após a extração do óleo) podendo ser utilizada para a alimentação animal (Campelo Filho et al., 2018).

Uma das limitações dessa cadeia produtiva se apresenta logo na coleta do fruto, que, geralmente, é realizada por grupos de mulheres, popularmente conhecidas como quebradeiras de coco, que trabalham em precárias condições. Vêm ganhando representatividade, por meio do Movimento Interestadual das Quebradeiras de Coco Babaçu (MIQCB) (Campelo Filho et al., 2018), criado em 1990, que tem por intuito lutar em favor da conservação dos babaçuais e do extrativismo do coco babaçu (Rego e Andrade, 2005).

As quebradeiras de coco encontram dificuldades de ter acesso aos babaçuais, pois muitos fazendeiros não permitem que elas entrem em suas propriedades para fazer a extração dos frutos (Matos et al., 2015; Neto, 2017). Grande parte permite ao cobrar uma alta porcentagem dos lucros. Visto isso, o MIQCB vem reivindicar o direito de livre acesso aos babaçuais.

Um outro fator limitante é a falta de um equipamento para a quebra mecânica do fruto. Desde 1920 busca-se o desenvolvimento de equipamentos que facilitem tal quebra (Porto, 2004). Contudo, ainda nos dias de hoje, os

principais instrumentos utilizados, para a quebra do coco, são o machado e o porrete de madeira (Saraiva et al., 2019). De acordo com Homma et al. (2014), para médios e grandes produtores, atividades altamente intensivas em mão de obra não são tão atrativas e, por isso, tendem a ser abandonadas, o que coloca em risco a cadeia produtiva do babaçu.

Há vários tipos de máquinas que facilitam a retirada da amêndoa do coco, entretanto, em razão de fatores como: alto valor de aquisição, baixo rendimento proporcionado, dificuldade de manutenção e altos níveis de ruído, a grande maioria desses equipamentos ainda não tem encontrado aceitação no mercado (Carrazza et al., 2012).

A falta de subsídio do governo para a produção e sistema de colheita não mecanizado são limitantes para o desenvolvimento da produção de babaçu, em larga escala, além dos custos relacionados à logística, já que os babaçuais dar-se-ão de maneira dispersa nas regiões produtivas e é preciso realizar transporte desses frutos até as indústrias (Putti et al., 2012).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível concluir que as perspectivas são positivas para o desenvolvimento da agroenergia na região Norte, por meio das culturas descritas. Para a cadeia de etanol, destaca-se o elo agrícola das culturas da mandioca e batata-doce, que possuem alta capacidade de produção de biomassa por área, bem como, a vantagem de seu cultivo em áreas restritas e nas entressafras da cana-de-açúcar, já para a cultura do sorgo, o elo industrial é o principal fator favorável pois permite reduzir a ociosidade das indústrias canavieiras. Para a cadeia de biodiesel, evidencia-se o domínio, logística e a indústria fortemente adaptada da cultura da soja como potenciais, já para a cultura do dendê, ressalta-se a inclusão da cultura no Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel como cultura apta para a região Norte, e para as culturas da macaúba e babaçu destaca-se a alta produção de óleo por área. Constata-se também que o processo de hidrólise/sacarificação/tratamento do caldo são as principais limitações econômicas da produção de etanol das culturas amiláceas estudadas neste trabalho. Já para o sorgo, os entraves na produção, armazenamento e comercialização devem ser superados. Para a cadeia de biodiesel nota-se como a principal barreira o custo de obtenção, que é subsidiado pela obrigatoriedade da mistura com o diesel. Para as culturas perenes, é necessário mais estudo visando o melhoramento genético, mecanização e logística.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal do Tocantins e ao Mestrado em Agroenergia por possibilitar os meios para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIOVE. Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Projeção de safra de soja para 2020 – 2020. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/noticias/materia-prima/soja1/abiove-eleva-projecao-de-safra-de-soja-para-2020-140220>. Acesso em março de 2020.
- ABRAPALMA. Associação Brasileira de Produtores de Óleo de Palma. Retrospecto e projeções da palma de óleo no brasil 2018 - 2019. Edição nº002. 2018.
- ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Biodiesel. 2018. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/perguntas/283-produtos-regulados-faq/biodiesel/3753-biodiesel-faq#:~:text=No%20Brasil%2C%20s%C3%A3o%20produzidos%20o,prima%20para%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20etanol>. Acesso em novembro de 2020.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DA SOJA. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta disponível em: http://www.editoragazeta.com.br/sitewp/wp-content/uploads/2019/11/SOJA_2019.pdf. v. 30, p. 156, 2019. Acesso jan. 2020.
- Aso SN, Pullammanappallil PC, Teixeira AA, Welt BA. 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. 13138, 2019. <https://doi.org/10.1002/ep.13138>
- Balan KN, Yashvanth U, Booma Devi P, Arvind T, Nelson H, Devarajan Y. Investigation on emission characteristics of alcohol biodiesel blended diesel engine. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, v. 41, n. 15, p. 1879-1889, 2019. <https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1549166>
- BIODIESELBR - Biodiesel de dendê, uma alternativa ecológica - 2018. Disponível em: www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel. Acesso em fevereiro de 2020.
- BIODIESELBR. Biodiesel de óleo de palma deixa de ser renovável na União Europeia. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com>. Acesso em outubro de 2019.
- Boog EG, Bizzo WA, Valle TL. Avaliação do Potencial Energético dos Resíduos de Campo da Cultura da Mandioca. *Revista RAT*, v. 3, 2007.
- Brandão F, Schoneveld G. “The state of oil palm development in the Brazilian Amazon: Trends, value chain dynamics, and business models”. Bogor: CIFOR, 2015. 54 p. (Working paper, 198).
- Brazilio M, Bistachio NJ, Silva VC, Nascimento DD. O Dendzeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) - Revisão. *Bioenergia em Revista: Diálogos* (ISSN: 2236-9171), v. 2, n. 1, p. 27-45, 2012.
- Bueno ODC, Esperancini MST, Takitane IC. Produção de biodiesel no Brasil: aspectos socioeconômicos e ambientais. *Revista Ceres*, 56(4). 2015.
- Cabello C. Produtos derivados de fécula de mandioca-etanol. In: Workshop sobre Tecnologias em Agroindústrias de Tuberosas Tropicais, 4, 2006, Botucatu. Anais Botucatu: UNESP, 2006. p.02-06.
- Campelo Filho E, Rosa AGF, Lopes Júnior RM, Caselli FTR. Economia solidária: a realidade das quebradeiras de coco babaçu no interior do Brasil. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*. v. 11, n. 4, p. 1239-1257, 2018. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2018v11n4p1239-1257>
- Cavalcante JT, Ferreira PV, Soares L. Correlações fenotípicas, genotípicas e de ambiente em clones de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), Rio Largo - Alagoas. *Revista Ciência Agrícola*, v. 10, n. 1, p. 1-7, 2012.
- Cardoso ZS, Rodrigues IA, Mendonça CJS, Rodrigues JRP, Ribeiro WRA, Silva WO, Marciel AP. Evaluating the Electrochemical Characteristics of Babassu Coconut Mesocarp Ethanol Produced to Be Used in Fuel Cells. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. v. 29, n. 8, p. 1732-1741, 2018. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20180048>
- Carrazza LR, Silva ML, Ávila JCC. Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto do Babaçu. Brasília – DF. Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN). Brasil, 2012.
- Coleti JC, Oliveira ALR. A Intermodalidade no Transporte de Etanol Brasileiro: aplicação de um modelo de equilíbrio parcial. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 57, n. 1, p. 127-144, 2019. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790570108>
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Observatório agrícola: acompanhamento da safra brasileira 2016/2017 (Grão). Brasília, DF, v. 4, n. 2, p. 156, 2019.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra bras. grãos, v. 7 - Safra 2019/20 - Sexto levantamento, Brasília, p. 89, março, 2020.
- CNPE-Conselho Nacional de Política Energética. Resolução Nº 16, de 29 de outubro de 2018. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/36074/265770/Resolucao_16_CNPE_29-10-18.pdf/03661cf7-007d-eb99-10b4-61ee59c30941. Acesso em novembro de 2020.
- Correia LG. Roraima gerou quase meio bilhão de reais em produção agrícola. 2017. Disponível em: <https://fohlabv.com.br/noticia/Roraima-gerou-quase-meio-bilhao-de-reais-em-producao-agricola/33066>. Acesso em outubro de 2019.
- Costa JMC, Oliveira DM, Costa Luis EC. Macauba Palm— *Acrocomia aculeata*. *Exotic Fruits*, [S.L.], p. 297-304, 2018. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-803138-4.00039-3>.
- Costa ASV, Silva SP, Rodrigues JP. A desarticulação governamental do pró-macaúba na agenda do estado de Minas Gerais. *Economia & Região*, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 93-113, 29 ago. 2019. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/2317-627x.2019v7n2p93>.

- Cremonese PA, Feroldi M, Nadaleti WC, De Rossi E, Feiden A, De Camargo MP, Cremonese FE, Klajn FF. Biodiesel production in Brazil: current scenario and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 42, p. 415-428, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.004>
- Custódio IG, Karam D. Desenvolvimento e aperfeiçoamento de sistemas de produção de sorgo sacarino em área de reforma de canaviais. In: *Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016.
- Da Silva CA, De Azedias Almeida F, De Souza RP, Silva GC, Atabani A E. The prospects of using *Acrocomia aculeata* (macaúba) a non-edible biodiesel feedstock in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 1213-1220, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.125>
- Da Silva CA, Conejero MA, Ribeiro ECB, Batalha MO. Competitiveness analysis of “social soybeans” in biodiesel production in Brazil. *Renewable energy*, v. 133, p. 1147-1157, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.108>
- Durães FOM, May A, Parrella RA. Sistema agroindustrial do sorgo sacarino no Brasil e a participação público-privada: oportunidades, perspectivas e desafios. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 138).
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Mandioca no Cerrado: Orientações Técnicas. Embrapa-Cerrados- Brasília, 2011.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de Sorgo Sacarino para Bioetanol Sistema BRS1G. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Sete Lagoas – MG, 120p. 2012.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistemas de Produção Embrapa – Cultivo de Sorgo, 2015.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Cultura da mandioca: aspectos socioeconômicos, melhoramento genético, sistemas de cultivo, manejo de pragas e doenças e agroindústria. Brasília, 2016.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Árvore do conhecimento da soja: Socioeconomia. Brasília, 2019.
- Erthal ES, Zamberlan JF, Salazar RF. A batata-doce (ipomoea batatas) como biomassa alternativa para produção de biocombustíveis frente aos combustíveis fósseis. *Ciência & tecnologia*, 2(1), 44-63. 2018.
- Fernandes F, Silva CS da, Santos MVB, Lima CJB de. Estudo da produção de etanol a partir de sorgo biomassa (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench). III Congresso Nacional de Engenharia de petróleo, gás natural e biocombustíveis. 2018.
- FAO. Food and Agriculture Organization, 2019. Protecting cassava, a neglected crop, from pests and diseases. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca7117en/CA7117EN.pdf>. Acesso em dezembro de 2019.
- Fernández-Coppel IA, Barbosa-Evaristo A, Corrêa-Guimarães A, Martín-Gil J, Navas-Gracia LM, Martín-Ramos P. Life cycle analysis of macauba palm cultivation: a promising crop for biofuel production. *Industrial Crops And Products*, [S.L.], v. 125, p. 556-566, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.09.036>.
- Fulgêncio C. Mandioca representa 66% da produção agrícola do AC, diz estudo. 2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/ac/acre/noticia/2015/05/mandioca-representa-66-da-producao-agricola-do-ac-diz-estudo.html>. Acesso em outubro de 2019.
- García-Velásquez, CA, Daza L, Cardona CA. Economic and Energy Valorization of Cassava Stalks as Feedstock for Ethanol and Electricity Production. *BioEnergy Research*, p. 1-14, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10098-8>
- Gerhardt CH, Santos C. Agrocombustíveis versus segurança alimentar: o incerto lugar da agricultura familiar nas políticas de incentivo à produção de etanol no sul do Brasil. *Guaju*, v. 1, n. 2, p. 59-95, 2015. <http://dx.doi.org/10.5380/guaju.v1i2.48388>
- Glass V. Expansão do dendê na Amazônia brasileira: elementos para uma análise dos impactos sobre a agricultura familiar no nordeste do Pará. São Paulo: Repórter Brasil, [2013], 2013.
- Gollo SS, Medeiros JF, Padilha ACM. Configuração da cadeia produtiva do biodiesel, a partir da matéria-prima soja, no Rio Grande do Sul/Brasil. In: *Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 48., 2010, Campo Grande. Anais. Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2010.
- Gonçalves FB. Efeitos da deriva simulada do glyphosate na fisiologia e produção da batata-doce (cv. Duda). 2018.62p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Tocantins, Gurupi.
- Gouveia VM, Matricardi EAT, Angelo H. Dinâmica espaço-temporal da produção de amêndoas de babaçu e da utilização das terras no Maranhão. *Embrapa Cocais*. Documentos 02. p. 1-35, 2017.
- Guimarães AF, Colavite AP, Da Silva EA. A rede de produção de biocombustíveis da região sul do Brasil. *Revista de Geografia (Recife)*, v. 36, n. 3, 2019.
- Homma AKO, Santos JC, Sena ALS, Menezes AJEA. Pequena produção na Amazônia: conflitos e oportunidades, quais os caminhos? *Revista Amazônia: Ciência e Desenvolvimento*. v. 9, n. 18, p. 137-154. 2014.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2018. Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes - PAM. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/14/10193>. Acesso em janeiro de 2020.
- Lieb VM, Schex R, Esquivel P, Jiménez VM, Schmarr HG, Carle R, Steingass CB. Fatty acids and triacylglycerols in the mesocarp and kernel oils of maturing Costa Rican *Acrocomia aculeata* fruits. *Nfs Journal*, [S.L.], v. 14-15, p. 6-13, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nfs.2019.02.002>.
- Lima JRO, Silva RB, Silva CCM, Santos LSSS, Santos Júnior JR, Moura EM, Moura CVR. Biodiesel de babaçu (*Orbignya sp.*) obtido por via etanólica. *Química Nova*. v. 30, n. 3, p. 600-603, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000300019>

- Magalhães KB, Rodrigues W, Silveira MA. Análise custo-benefício social da cadeia produtiva de etanol de batata-doce no Estado de Tocantins. *Custo e @gronegocio online*, v.8 n. 1, 2012.
- Maino SC, Júnior ES, Dal Pozzo DM, Santos RF, Siqueira JAC. Batata-doce (*Ipomoea batatas*) dentro do contexto de culturas energéticas, uma revisão. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 8, n. 4, 2019. <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v8i4.65754>
- Makkawi Y, EL Sayed Y, Salih M, Nancarrow P, Banks S, Bridgwater T. Fast pyrolysis of date palm (*Phoenix dactylifera*) waste in a bubbling fluidized bed reactor. *Renewable energy*, v. 143, p. 719-730, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.028>
- Márquez JP, de Oliveira Ribeiro C, Santoyo ER, Fernández VF. Predicción de la demanda de etanol en Brasil utilizando un enfoque de Redes Neuronales Recurrentes de tipo LSTM. *IEEE Latin America Transactions*, v. 100, n. 1e, 2020.
- MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011. 2. ed. rev. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Diagnóstico da produção sustentável da palma de óleo. 1º Edição. Brasília, 2018.
- Matos F, Shiraishi J, Ramos V. Acesso à terra, território e recursos naturais: a luta das quebradeiras de coco babaçu. *Action Aid Brasil*. p. 1-28, 2015.
- May A, Parrella RAC, Damasceno CMB, Simeone MLF. Sorgo como matéria-prima para produção de bioenergia: etanol e cogeração. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 35, n. 278, p. 14-20, 2014.
- May A, Mendes SM, Silva DD, Parrella RA da C, Silva AF da, Pacheco TF, Aquino LA de, Cota LV, Costa RV da. Manejo cultural de sorgo sacarino em áreas de reforma de canaviais. In: *Embrapa Meio Ambiente-Resumo em anais de congresso (ALICE)*. Brasília, DF: Embrapa, 2017. v. 2, pt. 6, cap. 1, p. 574-587, 2018.
- ME-MINISTÉRIO DA ECONOMIA. Integração Produtiva e Competitividade internacional: Conceituação, 2017. disponível em: <http://www.mdic.gov.br/index.php/competitividade-industrial/acoes-e-programas-11/conceituacao>. Acesso em dezembro de 2020.
- Menezes CB, Ribeiro AS, Tardin FD, Carvalho AJ, Bastos EA, Cardoso MJ, Portugal AF, Silva KJ, Santos CV, Almeida FHL. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de sorgo em ambientes com e sem restrição hídrica. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 14, n. 1, p. 101-115, 2015.
- Miguel L, Santos LDC, Laviola B, Alves A, Rosado T. Estudo da diversidade genética de famílias segregantes de macaúba (*Acrocomia aculeata*). In: *Embrapa Agroenergia-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 6.; CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 9., 2016, Natal, RN. Biodiesel: 10 anos de pesquisa, desenvolvimento e inovação no Brasil: anais. Lavras: UFLA, 2016.
- Miyamoto M, Takeuchi K. Climate agreement and technology diffusion: Impact of the Kyoto Protocol on international patent applications for renewable energy technologies. *Energy policy*, v. 129, p. 1331-1338, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.02.053>
- Moreira JMMAP, De Sousa TCR. Macaúba: oportunidades e desafios. *Embrapa Cerrados-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E)*, 2009.
- Nascimento UM, Vasconcelos ACS, Azevedo EB. Otimização da produção de biodiesel a partir de óleo de coco babaçu com aquecimento por micro-ondas. *Eclética Química*. vol. 34, n. 4, p. 37-48, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-46702009000400004>
- Nascimento MF, Campos MCC, da Silva DMP, Mantovanelli BC, Gomes RP, Weckner FC, Jordão HWC. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) na região amazônica, Brasil. *Revista Nativa*, 5(6), 381-385, 2017. <http://dx.doi.org/10.5935/2318-7670.v05n06a01>
- Neto JS. Quebradeiras de coco: “babaçu livre” e reservas extrativistas. *Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável*. v. 14, n. 28, p. 147-166, 2017. <https://doi.org/10.18623/rvd.v14i28.920>
- Ng MH, Yung CL. Nuclear magnetic resonance spectroscopic characterisation of palm biodiesel and its blends. *Fuel*, v. 257, p. 116008, 2019/12/01/ 2019. ISSN 0016-2361. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116008>
- Nuanpeng S, Thanonkeo S, Klanrit P, Thanonkeo P. Ethanol production from sweet sorghum by *Saccharomyces cerevisiae* DBKKUY-53 immobilized on alginate-loofah matrices. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 49, p. 140-150, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjm.2017.12.011>
- Parrella RAC, May A, Silva DD, Santos FC. Cultivo do sorgo biomassa para cogeração de energia elétrica. *Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo*, 65 p., 2017.
- Pattiya, A. Thermochemical Characterization of Agricultural Wastes from Thai Cassava Plantations. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, v. 33, n. 8, p. 691-701, fev 2011. <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1704410>
- Pavlak MCM, Zuniga AD, Lima TLA, Arévalo-Pinedo A, Carreiro SC, Fleury CS, Silva DL. Aproveitamento da farinha do mesocarpo do babaçu (*Orbignya martiana*) para obtenção de etanol. *Evidência*. v. 7, n. 1, p. 7-24, 2007. <https://doi.org/10.18593/eba.26304>
- Ponte FAF, Rodrigues JS, Malveira JQ, Ramos Filho JAS, Albuquerque MCG. Avaliação físico-química dos óleos de babaçu (*Orbignya speciosa*) e coco (*Cocos nucifera*) com elevado índice de acidez e dos ácidos graxos (C6 a C16). *Scientia Plena*. v. 13, n. 8, 2017. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2016.071301>
- Porto MJF. Estudo preliminar de dispositivo de quebra e caracterização dos parâmetros físicos do coco babaçu. São Luiz, MA. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas- UEC; 2004.
- Pratto B, Rocha MSRS, Longati AA, Júnior RS, Cruz AJG. Experimental optimization and techno-economic analysis of bioethanol production by simultaneous saccharification and fermentation process using sugarcane

- straw. *Bioresource technology*, v. 297, p. 122494, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122494>
- Putti FF, Ludwig R, Ravazi AS. Análise da viabilidade e rentabilidade do uso do babaçu para a produção do biodiesel. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*. v. 8, n. 7, p. 127-142, 2012. <http://dx.doi.org/10.17271/19800827872012>
- Ramos LP, Kothe V, César-Oliveira MAF, Muniz AS. Biodiesel: matérias-primas, tecnologias de produção e propriedades combustíveis. *Revista Virtual de Química*, v. 9, n. 1, p. 317-369, 2017. <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20170001>
- Rego JL, Andrade MP. História de mulheres: breve comentário sobre o território e a identidade das quebradeiras de coco babaçu no Maranhão. *Agrária*. n. 3, p. 47-57, 2005. <https://doi.org/10.11606/issn.1808-1150.v0i3p47-57>
- Ribeiro VS, Finco MVA, Ribeiro JB, Nunes JF. Cadeia produtiva da soja e a produção de biodiesel no Tocantins: uma análise do uso da terra pela agricultura familiar. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 32, n. 1/2, p. 173-189, 2015. <http://dx.doi.org/10.35977/0104-1096.cct2015.v32.23310>
- Risso RDS. Etanol de batata-doce: otimização do pré-processamento da matéria-prima e da hidrólise enzimática. 2014. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- Rodrigues W, Lunckes JF. Economic profitability of the production of biodiesel from castor in the Tocantins State. 2011.
- Salla DA, Furlaneto FP, Cabello C, Kanthack RA. Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 4, p. 444-448, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000400015>
- Santiago BLS, Rodrigues FA. Processamento de biomassa lignocelulósica para produção de etanol: Uma Revisão. 2017.
- Santos LF, De Paula Lana R, Guimarães G, Trindade PC, Teixeira CRV. Avaliação do desenvolvimento de Macaúba em sistema silvipastoril. *Cadernos de Agroecologia*, v. 10, n. 3, 2016.
- Saraiva AFS, Oliveira NM, Filho MXP, Lopes WS. Cadeia produtiva do babaçu em Cidelândia - MA: uma análise a partir da abordagem de cadeia global de valor. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*. v. 15, n. 2, p.13-23, 2019.
- SEDAP. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca. Dendê. Governo do Estado do Pará. 2020. Disponível em: <http://www.sedap.pa.gov.br/content/dend%C3%AA>. Acesso out. 2021.
- Serpa ECA, Rangel YP, De Oliveira BF, De Alvarenga SDD, Da Silva SETP. Avaliação da performance de um motor de combustão interna do ciclo otto utilizando gasolina e uma mistura gasolina-etanol. *Exatas & Engenharias*, v. 9, n. 26, p. 01-22, 2019. <https://doi.org/10.25242/885X92620191777>
- Serra GE, Goldonberg J, Moreira JR, Carvalho CM. Estudo Energético de Alternativas Brasileiras para Produção de Energia Renovável. XV Convención UPADI 1º - Santiago - Chile, 7 Octubre, 1978.
- Silva MGS, Ferreira KJN, Teixeira MM, Silva FC, Maciel AP. Estudo de viabilidade técnica da produção de biodiesel de babaçu: uma revisão crítica. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 12, n. 2, p. 434-443, 2014. <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v12i2.1514>
- Silva WT, Schio LA, Wagner PK, Modanese BP, Karam D, Silva AF. Tolerância de genótipos de sorgo sacarino a herbicidas pré-emergentes. XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo. Bento Gonçalves - RS, 2016.
- Silveira MA, Dias LED, Alvim TC, Tavares IB, Santana WR, Souza RS. A Cultura da Batata-doce como Fonte de Matéria-prima para Etanol. *Boletim técnico- UFT*. Palmas, 64 p. 2008.
- Simas JP, Pereira CLC. Energia e sustentabilidade: análise da viabilidade do cultivo de dendê para o desenvolvimento regional endógeno da Amazônia. *Boletim de Geografia*, v. 37, n. 1, p. 184-198, 2019. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v37i1.39256>
- Sivamani S, Chandrasekaran AP, Balajii M, Shanmugapriakash M, Hosseini-Bandegharai A, Baskar R. Evaluation of the potential of cassava-based residues for biofuels production. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, v. 17, n. 3, p. 553-570, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11157-018-9475-0>
- Soares FMS. Conjuntura de Mercado Mandioca. 44ª Reunião Câmara Setorial Mandioca, 17 de julho de 2018.
- Sobrinho OPL, Da Silva LFB, Pereira ÁIS, Cantanhede EDKP, Carlos MDAS, Da Silva JR, Siqueira LFS. Uma proposta de aula experimental utilizando mesocarpo de babaçu (*Orbignya speciosa*) na remoção do azul de metileno de soluções aquosas. *Educación química*. v.26, n.4, p.314-318, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2014.12.001>
- Sousa LOS, Parrella RAC. Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de sorgo sacarino. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2018.
- Tapanes NLCO, Aranda DAG, Perez RS, Cruz YR. Biodiesel no Brasil: matérias primas e tecnologias de produção. *Acta Scientiae & Technicae*. v. 1, n. 1, jun. 2013. <https://doi.org/10.17648/uezo-ast-v1i1.11>
- Teixeira VL, Carneiro ACO, Evaristo AB, Faria BFH, Donato DB, MAGALHÃES MA. Potential of macauba epicarp (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius) for briquettes production. *Floresta*, [S.L.], v.48, n.4, p.563-600, 2 out. 2018. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v48i4.57397>
- Torres NBD, Chaves GDLD. A bibliographic review of systems for biodiesel evaluation: a bibliometric review. *Research, Society and Development*, v. 8, n. 2, p. 182522, 2019. <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i2.522>
- UDOP. União Nacional da Bioenergia. Mapas Usinas/ Destilarias. Disponível em: https://www.udop.com.br/index.php?item=mapa_unidades. Acesso em dezembro de 2020.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Produção de Etanol. Processos Químicos Industriais II. Escola de Engenharia de Lorena-Universidade de São Paulo - USP, 2011.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Department of Agriculture, 2020. Disponível em:<http://apps.fas.usda.gov/gats/>. Acesso em janeiro de 2020.

Vargas BS, Lissner LA, Meth S. Biodiesel: Contexto, Características, Vantagens e Produção. Revista congrega-mostra de trabalhos de conclusão de curso-ISSN 2595-3605, n. 1, p. 253-269, 2017.

Zuniga ADG, Andrade AA, Gouvêa GRDSR, Amaral LCGS, Sodré LF, Novais TS, Pinedo AA, Vieira CFDS. Situação atual e perspectivas do biodiesel no Estado do Tocantins. Revista Desafios, v. 1, n. 1, p. 263-278, 2015.
<https://doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2014v1n1p263>