



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA DIGITAL

LUZÊNI NERES DE OLIVEIRA SOUSA

**CULTURAS AGROENERGÉTICAS E PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS: UMA  
ANÁLISE BASEADA EM DISSERTAÇÕES DO PROGRAMA DE MESTRADO EM  
AGROENERGIA DIGITAL**

Palmas, TO  
2025

LUZÊNI NERES DE OLIVEIRA SOUSA

**CULTURAS AGROENERGÉTICAS E PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS: UMA ANÁLISE BASEADA EM DISSERTAÇÕES DO PROGRAMA DE MESTRADO EM AGROENERGIA DIGITAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital (PPGAD) da Universidade Federal do Tocantins (UFT), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agroenergia Digital, vinculada à Linha de Pesquisa II: Bioprocessos para Obtenção de Biocombustíveis

Orientadora: Dra. Flávia Lucila Tonani de Siqueira

Palmas, TO  
2025

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

S725c Sousa, Luzêni Neres de Oliveira.  
Culturas agroenergéticas e produção de biocombustíveis: uma análise baseada em dissertações do programa de mestrado em agroenergia digital. / Luzêni Neres de Oliveira Sousa. – Palmas, TO, 2025.

82 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Agroenergia, 2025.

Orientadora : Flávia Lucila Tonani de Siqueira

1. Agroenergia. 2. Biocombustíveis. 3. Economia circular. 4. Inovação tecnológica. I. Título

**CDD 333.7**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

Luzêni Neres de Oliveira Sousa

**CULTURAS AGROENERGÉTICAS E PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS: UMA ANÁLISE BASEADA EM DISSERTAÇÕES DO PROGRAMA DE MESTRADO EM AGROENERGIA DIGITAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital (PPGAD). Foi avaliado para a obtenção do título de Mestra em Agroenergia Digital e aprovado em sua forma final pela Orientadora e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

Banca Examinadora:

---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Flávia Lucila Tonani de Siqueira, UFT  
Orientadora

---

Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior, UFT  
Examinador interno

---

Prof. Dr. Clauber Rosanova, IFTO - Palmas  
Examinador externo

“Dedico este trabalho àqueles que acreditam ser possível, depois de uma grande tempestade, encontrar caminhos e forças para ressignificar a vida e seguir em busca de conhecimentos, de aprendizados novos, enfim de vida, mesmo diante de *fortes motivo* para desistir...”

## AGRADECIMENTOS

Quando a gente descobre que a vida é só um sopro e que mesmo diante de tantos conhecimentos produzidos e disseminados pela ciência, não somos capazes de reagir aos percalços do destino... Tudo se torna insignificante diante da grandeza de Deus. O agradecimento neste momento é a Ele, pela vida, pela superação, pela dádiva do conhecimento e de ter forças para continuar e ressignificar todos os dias.

Depois de Deus, UFT, professores, Mestres, Doutores, gente, pessoas, colegas, carregados de conhecimentos acadêmicos, mas também, humanos, carregados de sentimentos, capazes de compreender as dores e motivações do aluno e impulsioná-lo a não desistir. Peço licença para citar minhas referências de “Mestre” e de “Mulher de Fibra” para a vida, minha mãe Wilma e à Flávia Lucila (me acolheu em meio a dor da perda do Emanuel, em meio ao misto de medo, insegurança e felicidade na chegada do Vicente e agora da Heloísa e, me deu a mão para trilhar a caminhada do Mestrado). A Professora Flávia representa os demais professores e colegas que nos motivam a conquistar capital intelectual e fazer a diferença.

Agradeço à minha família (Luciano, Wilma, Carlos Henrique, Roseni, Juliana, Vinicius, Ana Júlia, João Pedro, Ezér, Pedro, Carlos Felipe, João Gabriel, Emanuel - In Memoriam, Vicente e Heloísa – a caminho) e amigos. Ah como sou grata àqueles que conhecem meus passos até aqui, me viram lutar, chorar, souberam quando pensei em desistir e estavam perto me dando forças, necessárias para me reerguer e, me ajudaram com palavras, com gestos e até indo à Universidade, não vou dar nomes, para não pecar, pois vocês sabem como foram importantes e saibam: marcaram momentos únicos, e acreditem, vocês são razões do meu PERSISTIR.

Enfim, Jhonson (você me mandou o edital), Claubert (você viu e divulgou minha aprovação no processo seletivo e é convidado de honra para a banca da defesa), Professor Joel, tivemos pouco contato durante a jornada dos estudos e agora o senhor está na banca, momento chave no final desta caminhada, Vânia (você acreditou que eu seria capaz), (Ezér você, Vicente e Heloísa me dão razões para persistir) Cheguei... Estive em meio a dúvidas, passei por um grande momento de amor, dor e gratidão e caminho para o fim de um ciclo, ao qual sou e serei eternamente grata e acredito, 2025 é o ano da minha vida!

“Bem sei eu que tudo podes, e que nenhum dos teus propósitos pode ser impedido. Quem é este, que sem conhecimento encobre o conselho? Por isso relatei o que não entendia; coisas que para mim eram inescrutáveis, e que Eu não entendia.”

JÓ 42:2-3

## RESUMO

Este trabalho acompanha a trajetória das pesquisas desenvolvidas no Programa de Pós-Graduação em Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins (PPGAD/UFT), com foco especial nas inovações tecnológicas aplicadas à produção de biocombustíveis. A partir da seleção de 78 dissertações defendidas entre 2012 e 2022, foi possível observar tendências, identificar lacunas e destacar os avanços no uso de culturas agroenergéticas, resíduos orgânicos e novas tecnologias de conversão energética. Ressalta-se que os dados evidenciam um maior direcionamento para o etanol, sobretudo o de primeira geração (1G), nas pesquisas do período, com forte presença de estudos voltados as culturas de batata-doce, soja e cana-de-açúcar. Ainda assim, observa-se um interesse crescente nos biocombustíveis de segunda (2G) e terceira gerações (3G), especialmente em temas como a fermentação de biomassas lignocelulósicas, o uso de microalgas, processos de pirólise e a produção de biochar. Mais do que traçar um panorama técnico, o estudo ressalta a importância de aproximar a produção científica das políticas públicas, como o RenovaBio, e dos princípios da economia circular. Concluindo-se a necessidade de diversificar métodos, ampliar o alcance geográfico das investigações e integrar, de forma mais consistente, as dimensões sociais, econômicas e ambientais à cadeia da bioenergia. Com destaque para a necessidade de maior investimento para o fortalecimento de uma matriz energética sustentável alinhada as perspectivas, desafios e oportunidades da transição energética global.

**Palavras-chave:** Agroenergia. Biocombustíveis. Economia circular. Inovação tecnológica.

## ABSTRACT

This work follows the trajectory of research developed in the Postgraduate Program in Agroenergy at the Federal University of Tocantins (PPGAD/UFT), with a special focus on technological innovations applied to biofuel production. Based on the selection of 78 dissertations defended between 2012 and 2022, it was possible to observe trends, identify gaps, and highlight advances in the use of agroenergy crops, organic waste, and new energy conversion technologies. It is noteworthy that the data show a greater focus on ethanol, especially first-generation (1G), in research during the period, with a strong presence of studies focused on sweet potato, soybean, and sugarcane crops. Even so, there is a growing interest in second-generation (2G) and third-generation (3G) biofuels, especially in topics such as the fermentation of lignocellulosic biomass, the use of microalgae, pyrolysis processes, and the production of biochar. More than just outlining a technical overview, the study highlights the importance of bringing scientific production closer to public policies, such as RenovaBio, and the principles of the circular economy. It concludes that there is a need to diversify methods, expand the geographic scope of research, and integrate social, economic, and environmental dimensions into the bioenergy chain in a more consistent manner. It highlights the need for greater investment to strengthen a sustainable energy matrix aligned with the perspectives, challenges, and opportunities of the global energy transition.

**Keywords:** Agroenergy. Biofuels. Circular economy. Technological innovation.

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 - Correspondência entre objetivos e metodologia .....	25
Quadro 2 - Integração PPGAD & setor produtivo .....	27
Quadro 3 - Algumas Culturas agroenergéticas apresentadas nas dissertações.....	29
Quadro 4 - Lacunas e Recomendações.....	31
Quadro 5 - Lacunas identificadas nas dissertações analisadas.....	49
Tabela 1 - Dissertações por tipo de biocombustível .....	33
Tabela 2 - Resumo das culturas agroenergéticas .....	35
Tabela 3 - Agricultura e o valor da produção .....	38
Tabela 4 - Títulos, autores e ano da defesa das dissertações analisadas .....	61

## LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

Figura 1 - Fluxograma do processo de seleção das dissertações analisadas.....	23
Figura 2 - Geração de Biocombustíveis .....	53
Figura 3 - Principais termos encontrados nas dissertações analisadas do PPGAD/UFT .....	59
Gráfico 1 - Quantidade vezes que as principais culturas energéticas foram citadas nos títulos das dissertações .....	39
Gráfico 2 - Culturas emergentes em destaque na produção científica .....	40
Gráfico 3 - Culturas Agroenergéticas Alternativas .....	42
Gráfico 4 - Dosagens de adubos e fertilizantes citados nas dissertações .....	44
Gráfico 5 -Inoculações de fungos e bactérias citados nas dissertações.....	46
Gráfico 6 - Principais processos de conversão citados nos títulos das dissertações	51
Gráfico 7- Biocombustíveis citados nos títulos das dissertações .....	54
Gráfico 8 - Palavras recorrentes nos títulos das dissertações analisadas.....	60
Gráfico 9 - Quantidade de Dissertações - Ano.....	66

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2G	Segunda Geração
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANOVA	Método da Análise de Variância
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APROBIO	Associação dos Produtores de Biocombustíveis do Brasil
BEN	Balanço Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRS	Brasil e Sementes (sigla utilizada para identificar cultivares de grãos desenvolvidas pela Embrapa)
CAPES	Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CH4	Metano
CO2	Dióxido de Carbono
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Emissões de Gases de Efeito Estufa
IEA	Agência Internacional de Energia
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
K	Potássio
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
Na	Sódio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNA	Plano Nacional de Agroenergia
PNDF	Plano Nacional de Desenvolvimento de Florestas Plantadas
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
PPGAD	Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital
PROÁLCOOL	Programa Nacional do Alcool
REDD+	Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação floresta
RENOVABIO	Política Nacional de Biocombustíveis

SAF	Combustível Sustentável da Aviação
SBCE	Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa
UFT	Fundação Universidade Federal do Tocantins

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1 Problema de pesquisa</b> .....	<b>16</b>
1.1.1 Hipótese .....	17
1.1.2 Delimitação do escopo .....	18
1.1.3 Justificativa .....	19
<b>1.2 Objetivos</b> .....	<b>20</b>
1.2.1 Objetivo geral .....	20
1.2.2 Objetivos específicos .....	21
<b>2 METODOLOGIA</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1 Objeto do estudo</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2 Caracterização do estudo</b> .....	<b>22</b>
<b>2.3 Critérios de seleção dos trabalhos analisados</b> .....	<b>22</b>
<b>2.4 Análise qualitativa e quantitativa</b> .....	<b>24</b>
<b>2.5 Correspondência entre objetivos e procedimentos metodológicos</b> .....	<b>25</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>26</b>
<b>3.1 A agroenergia como alternativa sustentável: perspectivas históricas, científicas e relevância acadêmica</b> .....	<b>26</b>
3.1.1 Alinhamento com políticas públicas e tendências de mercado .....	30
<b>3.2 Produção de culturas agroenergéticas</b> .....	<b>32</b>
3.2.1 Principais culturas agroenergéticas .....	37
3.2.2 Viabilidade de culturas emergentes .....	39
<b>3.3 Produção de biocombustíveis</b> .....	<b>43</b>
3.3.1 Avanços agronômicos e melhoramento genético nas culturas agroenergéticas.. .....	43
<b>3.4 Inovações e tecnologias emergentes</b> .....	<b>52</b>
3.4.1 Tecnologias de processamento e conversão de biomassa .....	53
3.4.2 Inovações na produção a partir de resíduos e biomassas alternativas .....	55
3.4.3 Uso sustentável da biomassa residual .....	55
<b>3.5 Impactos socioeconômicos</b> .....	<b>56</b>
3.5.1 Contribuições e limitações .....	56
<b>4 CONCLUSÕES</b> .....	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>71</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O relatório “Perspectivas da População Mundial 2024” projeta que a população global saltará de 8,2 para 10,3 bilhões de pessoas nas próximas décadas (UNITED NATIONS, 2024). Esse crescimento implicará um aumento expressivo na demanda por energia, colocando pressão sobre os recursos naturais do planeta. Como destacam Meadows, *et al.* (2004), os limites físicos da Terra restringem tanto a disponibilidade de insumos energéticos quanto a capacidade dos sumidouros naturais de absorver poluição e resíduos.

No cenário energético mundial, a eletricidade tem apresentado um crescimento duas vezes superior à média geral de consumo energético, o que evidencia a urgência na adoção de fontes mais limpas (IEA, 2024). Embora os combustíveis fósseis ainda dominem, o avanço da transição energética se fortalece frente às preocupações com as mudanças climáticas. Nesse contexto, o Brasil ocupa posição de destaque: de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN, 2024), cerca de 45% da matriz energética brasileira é composta por fontes renováveis, um número bastante superior à média global de 14% (EPE, 2024).

Políticas públicas como o Proálcool (1974), o PNPB (2005), o RenovaBio (2017) e o Programa Combustível do Futuro (2021) estruturaram a trajetória do país rumo à liderança em biocombustíveis, com metas claras para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Adicionalmente, iniciativas do BNDES e do Fundo Clima (IPEA, 2024) têm incentivado o financiamento de tecnologias energéticas limpas. A Agroenergia, setor baseado no aproveitamento da biomassa agrícola e de resíduos agropecuários, emerge como uma das estratégias mais promissoras para a diversificação e fortalecimento da matriz energética brasileira (MAPA, 2016).

Além das tradicionais culturas agroenergéticas, como cana-de-açúcar e milho, diversas outras espécies vêm sendo estudadas por seu potencial energético. Destacam-se a batata-doce, a macaúba e o uso de biomassas residuais, que ampliam as possibilidades de produção de biocombustíveis sustentáveis. O Brasil já se consolida como líder na produção de etanol, biodiesel, biogás e bioquerosene, abrangendo biocombustíveis de primeira geração (1G), segunda geração (2G), derivados de resíduos, e terceira geração (3G), como os produzidos a partir de algas e hidrogênio.

O desenvolvimento de combustíveis como o *Sustainable Aviation Fuel (SAF)*, com destaque para a macaúba como cultura promissora, demonstra o potencial brasileiro para a geração de biocombustíveis avançados de baixo carbono. Esses esforços se alinham aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), promovendo redução de desigualdades, geração de renda no campo e mitigação das emissões de GEE.

É nesse panorama que o estado do Tocantins se insere como protagonista. A criação do Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital da Universidade Federal do Tocantins (PPGAD/UFT), em 2008, representa um marco para a interiorização da pesquisa científica na área. Com perfil interdisciplinar e orientado para a inovação, o programa tem contribuído significativamente para o avanço do conhecimento técnico e científico em agroenergia, consolidando o Tocantins como polo emergente na área energética sustentável.

Desde sua fundação, o PPGAD/UFT acumula uma produção robusta: 78 dissertações defendidas até 2022, as quais abordam temas como caracterização físico-química de biomassa, eficiência energética de culturas e aplicação de tecnologias digitais no contexto agroenergético. Esta pesquisa, ao sistematizar essas dissertações, representa uma iniciativa inédita que visa compreender o perfil da produção científica do programa, mapear as principais culturas estudadas, identificar gargalos tecnológicos e reforçar o papel da pós-graduação como vetor de inovação no setor.

Assim, esta dissertação propõe-se a analisar criticamente a trajetória de pesquisa do Mestrado em Agroenergia Digital da UFT, destacando o papel das culturas agroenergéticas e sua aplicação na produção de biocombustíveis, com ênfase na diversidade de matérias-primas, no protagonismo regional do Tocantins e no alinhamento com os compromissos globais de sustentabilidade energética.

### **1.1 Problema de pesquisa**

Entre os anos de 2012 e 2022, foram defendidas 174 dissertações no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital da Universidade Federal do Tocantins (PPGAD/UFT), das quais 134 estão disponíveis publicamente no repositório institucional. Esses trabalhos contemplam uma ampla diversidade temática, abordando desde culturas agroenergéticas, solos, logística e legislação até

metodologias estatísticas e melhoramento genético, o que evidencia a abrangência e a complexidade do campo da agroenergia digital.

Dentre essas produções, 78 dissertações destacam-se por explorar, de forma explícita em seus títulos, o potencial de culturas agroenergéticas e biomassas alternativas na produção de biocombustíveis. A sistematização e análise crítica desse conjunto de trabalhos permitem observar não apenas as abordagens metodológicas adotadas, mas também as direções científicas e tecnológicas priorizadas pelo programa ao longo dos anos.

Considerando o papel estratégico da agroenergia na transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável, torna-se fundamental compreender se as pesquisas desenvolvidas estão contribuindo efetivamente para ampliar a eficiência energética das culturas estudadas e se estão alinhadas às diretrizes das políticas públicas e às tendências do mercado de bioenergia.

Diante desse cenário, o problema de pesquisa que orienta esta dissertação pode ser assim formulado:

- Em que medida as dissertações desenvolvidas no PPGAD/UFT, entre 2012 e 2022, que tratam de culturas agroenergéticas e biomassas alternativas, têm contribuído para o avanço da produção de biocombustíveis no Brasil?
  - A partir desse problema central, emergem as seguintes questões de pesquisa específicas: considerando:
    1. Qual é a eficiência das culturas agroenergéticas e biomassas alternativas, segundo os estudos analisados, em comparação com as fontes fósseis de combustíveis?
    2. As dissertações avaliadas estão alinhadas com as políticas públicas vigentes e com as tendências do mercado de bioenergia, como aquelas estabelecidas pelo RenovaBio, Programa Combustível do Futuro e compromissos com os ODS?

### 1.1.1 Hipótese

As hipóteses de pesquisa formuladas para guiar este estudo são:

1. **Potencial das Biomassas:** As culturas agroenergéticas tradicionais, as culturas alternativas emergentes e os resíduos agrícolas apresentam potencial significativo para a produção de biocombustíveis, e seu reconhecimento nas pesquisas acadêmicas pode incentivar a expansão e diversificação da matriz energética brasileira.
2. **Alinhamento com Políticas Públicas:** As dissertações analisadas indicam que o conhecimento científico gerado sobre culturas agroenergéticas e biomassas alternativas está, em sua maioria, alinhado às políticas públicas setoriais (como o RenovaBio, o Plano Nacional de Agroenergia e o Programa Combustível do Futuro), favorecendo a otimização da produção de biocombustíveis e promovendo práticas sustentáveis de aproveitamento de matérias-primas.

Essas hipóteses serão examinadas por meio de uma análise documental e qualitativa das dissertações disponíveis no repositório do PPGAD/UFT, complementada por dados secundários oriundos de fontes oficiais como o Balanço Energético Nacional (BEN), o Plano Nacional de Agroenergia (MAPA), e relatórios da Agência Internacional de Energia (IEA). A metodologia adotada seguirá os princípios do método científico, garantindo rigor na categorização dos dados, na identificação das abordagens utilizadas e na verificação da coerência com os marcos legais e normativos da bioenergia no Brasil.

Espera-se que os resultados obtidos não apenas contribuam para a compreensão da atuação do PPGAD/UFT como agente de inovação científica e tecnológica na área da agroenergia, mas também forneçam subsídios para o aprimoramento de futuras linhas de pesquisa do programa, em consonância com as demandas do setor produtivo e com os compromissos socioambientais estabelecidos pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

### 1.1.2 Delimitação do escopo

Esta pesquisa concentra-se na análise de dissertações defendidas no Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital (PPGAD) da Universidade Federal do Tocantins (UFT), no período compreendido entre os anos de 2012 a 2022, que tratam do potencial energético de culturas agroenergéticas, biomassas

alternativas e resíduos agroindustriais, com foco na produção de biocombustíveis de primeira, segunda e terceira geração.

O estudo se restringe às 78 dissertações que, explicitamente em seus títulos, indicam abordagem direta sobre a produção de bioenergia a partir de matérias-primas vegetais ou residuais, com ênfase em aspectos como eficiência energética, inovação tecnológica, sustentabilidade e viabilidade produtiva. Serão desconsideradas as dissertações cujo objeto principal não se relacione à temática energética, mesmo que vinculadas ao escopo geral da agroenergia.

A delimitação adotada visa garantir coerência metodológica e consistência analítica, permitindo identificar as principais tendências de pesquisa desenvolvidas no programa, avaliar a contribuição científica das produções acadêmicas para o setor de biocombustíveis e verificar o grau de alinhamento dos estudos com as políticas públicas brasileiras e as demandas do mercado de bioenergia.

### 1.1.3 Justificativa

A produção de biocombustíveis a partir de culturas agroenergéticas, resíduos e biomassas alternativas configura-se como uma das estratégias mais promissoras para a diversificação da matriz energética, a redução da dependência de combustíveis fósseis e o enfrentamento dos desafios ambientais e socioeconômicos contemporâneos (DEMIRBAS, 2009; BONAMIGO, 2014). Além de contribuir para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, essa alternativa promove o uso eficiente de recursos naturais e impulsiona o desenvolvimento regional sustentável (MAPA, 2024).

Nesse contexto, torna-se essencial promover uma análise crítica das abordagens acadêmicas voltadas à agroenergia, com o objetivo de identificar padrões, lacunas e oportunidades que orientem tanto a produção científica quanto a formulação de políticas públicas e estratégias de inovação. Apesar do avanço das pesquisas no setor, ainda há uma carência significativa de sistematizações analíticas sobre a produção científica gerada nos programas de pós-graduação, especialmente em regiões estratégicas como o Tocantins (BATISTA, 2016; ALMEIDA, 2014).

As dissertações defendidas no Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital (PPGAD/UFT), ao longo de mais de uma década, constituem um repositório relevante de conhecimento técnico-científico sobre a agroenergia, incluindo estudos

sobre culturas tradicionais e alternativas, processos de conversão energética, viabilidade econômica e impactos socioambientais (SANTANA, 2013; ALVIM, 2014; COSTA, 2015). No entanto, tal acervo permanece pouco explorado de forma integrada e estratégica, o que limita sua aplicabilidade direta no avanço do setor.

Este estudo propõe-se a analisar, de forma sistematizada, as dissertações que tratam de culturas agroenergéticas e biomassas alternativas para a produção de bioenergia, considerando variáveis como rendimento energético, eficiência de conversão, viabilidade técnica e econômica, e os respectivos impactos sociais e ambientais. Além disso, serão destacados os cultivares com maior potencial energético, as tecnologias inovadoras e os modelos de gestão associados à produção agroenergética (FLEXA, 2019; GIACOMINI, 2012; RIBEIRO, 2016). A análise será sustentada por estudos complementares e documentos oficiais, como o Balanço Energético Nacional (EPE, 2024), o Plano Nacional de Agroenergia (MAPA, 2024) e diretrizes da Agência Internacional de Energia (IEA, 2024).

Acredita-se que o levantamento e a organização crítica do potencial produtivo dessas biomassas em uma única obra científica contribuirão não apenas para a valorização da produção acadêmica do PPGAD, mas também para o fortalecimento da base científica da agroenergia no Brasil, subsidiando futuros projetos de pesquisa e políticas públicas. Além disso, o estudo poderá identificar fragilidades, tendências e lacunas que orientem novos caminhos de investigação, contribuindo para a consolidação do Tocantins como polo de excelência em pesquisa agroenergética (BONAMIGO, 2014; COELHO, 2020; BORGES, 2019).

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Caracterizar o potencial das culturas agroenergéticas, biomassas alternativas e resíduos analisados nas dissertações do Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital da UFT, com ênfase nos métodos de avaliação utilizados, visando subsidiar futuras pesquisas, políticas públicas e práticas sustentáveis no setor de bioenergia.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- I. Identificar e caracterizar as principais culturas agroenergéticas, biomassas alternativas e resíduos analisados nas dissertações, com destaque para suas propriedades químicas, físicas e potenciais bioenergéticos, conforme abordagens desenvolvidas por autores como ALVIM (2014), COSTA (2015), e ALMEIDA (2014);
- II. Realizar um levantamento sistemático das dissertações defendidas no PPGAD entre 2012 e 2022, selecionando aquelas relacionadas à produção de biocombustíveis de primeira, segunda e terceira geração, conforme classificações da APROBIO (2016) e discussões atualizadas por BORA *et al.* (2024);
- III. Analisar os padrões temáticos, metodológicos e tecnológicos presentes nas dissertações, destacando tendências, inovações e lacunas na pesquisa acadêmica da área, com base em exemplos como os trabalhos de FLEXA (2019), FIGUEIREDO (2020) e LUSTOSA (2020);
- IV. Verificar a articulação dos estudos com as políticas públicas, programas governamentais e tendências de mercado, avaliando sua contribuição para a transição energética e o desenvolvimento sustentável, em conformidade com diretrizes do Plano Nacional de Agroenergia (MAPA, 2024), do RenovaBio (BRASIL, 2017) e da IEA (2024).

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Objeto do estudo

O Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital (PPGAD) foi aprovado pela CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior em 2007, com início das atividades no primeiro semestre de 2008. De natureza multidisciplinar, o programa é voltado a profissionais de diversas áreas do conhecimento relacionadas à agroenergia. A primeira turma contou com 12 alunos e, até 2022, já foram titulados 134 mestres.

O PPGAD tem como objetivos o desenvolvimento, aprimoramento e difusão de conhecimentos sobre técnicas de produção de culturas bioenergéticas, processos de

obtenção de biocombustíveis e aproveitamento de coprodutos, em articulação com aspectos socioeconômicos, ambientais e políticos (UFT, 2024).

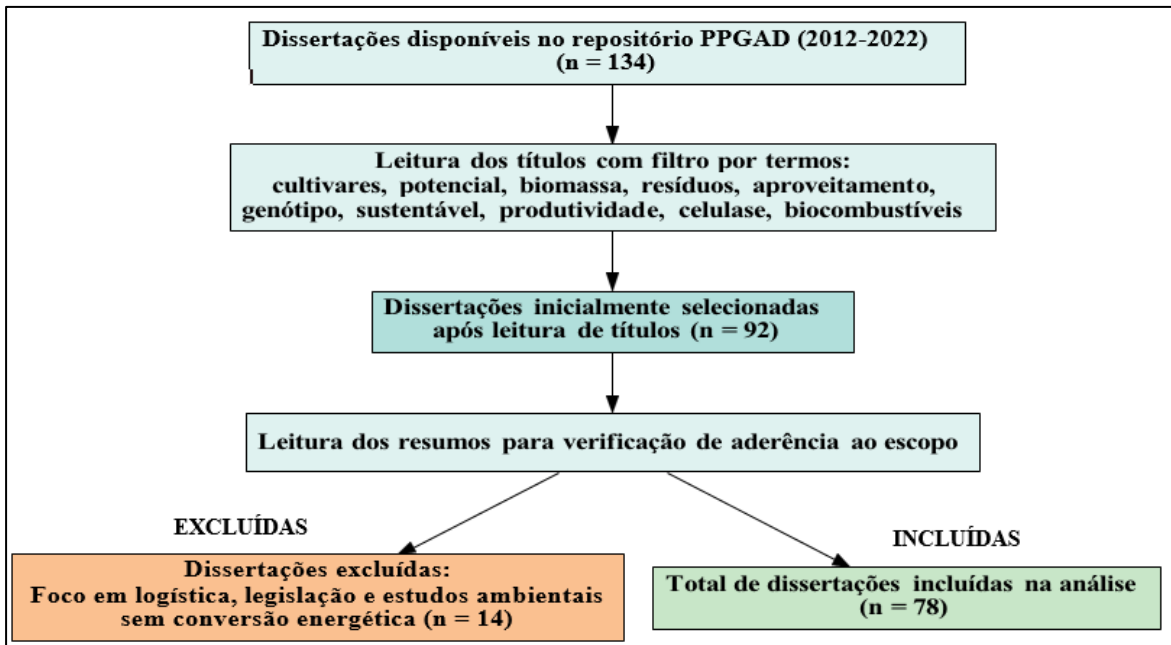
## **2.2 Caracterização do estudo**

Trata-se de uma pesquisa de natureza qualitativa, documental e exploratória, cujo objeto de análise compreende as dissertações defendidas no Programa de Mestrado em Agroenergia Digital da UFT entre os anos de 2012 a 2022, com base nos dados disponíveis no repositório eletrônico institucional. O estudo se concentra nos títulos e resumos das dissertações que abordam o potencial energético de culturas agroenergéticas, biomassas alternativas e resíduos para a produção de biocombustíveis de primeira, segunda e terceira geração (SANTANA, 2013; BONAMIGO, 2014).

## **2.3 Critérios de seleção dos trabalhos analisados**

Foram incluídas dissertações que abordassem explicitamente temas relacionados à produção de bioenergia e biocombustíveis, com foco em cultivos agroenergéticos e resíduos com potencial energético. Os critérios de exclusão envolveram a ausência de relação direta com o tema agroenergético ou falta de acesso ao texto completo. O processo de seleção foi sistematizado em um fluxograma adaptado do modelo PRISMA, conforme Figura 3, evidenciando as etapas da triagem e os critérios de elegibilidade (RÊGO, 2016; SIQUEIRA, 2016).

Figura 1 - Fluxograma do processo de seleção das dissertações analisadas



Fonte: Elaboração Própria (2025)

A fonte primária de dados utilizada neste estudo foi o repositório institucional da Universidade Federal do Tocantins (UFT), disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br>. Conforme apresentado na Figura 1, a seleção das dissertações seguiu uma abordagem sistemática, iniciando-se com a identificação de 134 dissertações disponíveis no repositório do Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital (PPGAD), no período de 2012 a 2022.

A primeira etapa consistiu na leitura dos títulos, com a aplicação de filtros baseados em palavras-chave relacionadas à conversão energética e à temática da agroenergia, tais como: cultivares, potencial, biomassa, resíduos, aproveitamento, genótipo, sustentável, produtividade, celulase e biocombustíveis. A aplicação desses critérios resultou na seleção inicial de 92 dissertações.

Na etapa seguinte, foi realizada a leitura dos resumos, com o objetivo de confirmar a aderência dos trabalhos ao escopo da pesquisa, especialmente no que diz respeito à relação direta com a conversão energética. Como resultado, 14 dissertações foram excluídas, por apresentarem foco em áreas como logística, legislação ou estudos ambientais que não abordavam processos de conversão energética. Ao final da triagem, 78 dissertações foram incluídas na análise final.

Essa estratégia metodológica está alinhada com os procedimentos recomendados por Cardoso (2013), que ressalta a importância de uma triagem criteriosa em revisões sistemáticas para assegurar a relevância e a qualidade da amostra analisada.

Dessa forma, o levantamento lexical dos títulos não apenas evidencia os principais focos das pesquisas desenvolvidas no PPGAD, como também confirma a pertinência e a coerência da seleção realizada. Os dados obtidos reforçam a contribuição do programa para o desenvolvimento sustentável, por meio da produção científica voltada à inovação tecnológica, ao reaproveitamento de resíduos e à valorização de culturas agroenergéticas na produção de biocombustíveis.

## **2.4 Análise qualitativa e quantitativa**

A abordagem qualitativa foi baseada em análise de conteúdo e em categorias emergentes extraídas das próprias dissertações, permitindo identificar os padrões metodológicos, temáticos e tecnológicos mais frequentes, bem como propostas inovadoras e lacunas não exploradas.

A etapa final da metodologia consistiu no confronto dos dados coletados com a literatura científica especializada sobre biomassa e biocombustíveis. Estudos como os de Souza e Cortez (2016) oferecem fundamentos tecnológicos e ambientais essenciais para avaliar a relevância das pesquisas desenvolvidas no PPGAD, enquanto os referenciais da ONU (2015) e da CAPES (2019) servem como parâmetro para aferir a aderência dos trabalhos aos ODS e à natureza interdisciplinar do campo.

Essa triangulação entre análise qualitativa, sistematização quantitativa e embasamento teórico permite um entendimento aprofundado sobre o potencial das biomassas agroenergéticas, biomassas alternativas e resíduos na produção de bioenergia e biocombustíveis de primeira, segunda e terceira geração. Além disso, reafirma a importância estratégica do Mestrado na geração de dados científicos aplicáveis ao desenvolvimento técnico, econômico e ambiental da agroenergia, contribuindo para a consolidação da bioeconomia regional e para o avanço de futuras pesquisas na área.

Nesse sentido, destaca-se a contribuição dos pressupostos da agroecologia, conforme defendido por Altieri (2012), que oferece bases científicas para a construção de sistemas agrícolas sustentáveis — conceito também aplicável à produção

energética a partir da biomassa. O diálogo entre os princípios agroecológicos e as tecnologias de conversão energética reforça a necessidade de abordagens integradas, sustentáveis e adaptadas às realidades locais.

## 2.5 Correspondência entre objetivos e procedimentos metodológicos

Conforme Quadro 1, observa-se a correspondência entre os objetivos específicos da pesquisa e os procedimentos metodológicos adotados, assegurando a coerência entre os dados coletados e as metas da investigação.

Quadro 1 - Correspondência entre objetivos e metodologia

<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Procedimentos Metodológicos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar as culturas mais recorrentes nas dissertações</li> <li>• Avaliar as inovações tecnológicas e processos de conversão energética</li> <li>• Investigar as lacunas temáticas, geográficas e metodológicas</li> <li>• Contribuir para a atualização curricular do PPGAD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Triagem por palavras-chave, análise de frequência nos títulos</li> <li>• Análise de conteúdo, categorização temática, leitura completa</li> <li>• Sistematização dos dados por tipo de cultura, região e metodologia</li> <li>• Interpretação crítica dos achados e articulação com as diretrizes da CAPES (2019) e ODS da ONU (2015)</li> </ul>

Fonte: Elaboração própria (2025)

No Quadro 1 explicita a articulação entre os objetivos específicos delineados na pesquisa e os procedimentos metodológicos empregados para alcançá-los. Essa correspondência garante a coerência interna do estudo, assegurando que cada etapa metodológica responda diretamente às perguntas de investigação propostas. Por meio da triagem sistemática das dissertações e da categorização dos dados, tornou-se possível identificar as culturas agroenergéticas mais recorrentes, os enfoques tecnológicos e científicos aplicados, bem como as lacunas existentes na produção acadêmica do Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital (PPGAD).

A análise qualitativa das dissertações permitiu destacar inovações metodológicas e temas emergentes, enquanto a abordagem quantitativa contribuiu para mapear a frequência e distribuição dos estudos por período, tipo de biomassa e geração de biocombustível. A última linha do quadro, por sua vez, reforça o caráter aplicado da pesquisa, ao vincular seus resultados às demandas do próprio programa de pós-graduação, subsidiando processos de atualização curricular e fortalecimento

institucional em consonância com as diretrizes da CAPES (2019) e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2015).

A análise foi triangulada com literatura especializada sobre conversão energética, biomassa, sustentabilidade e inovação. Referências como Altieri (2012) fundamentam o caráter interdisciplinar e agroecológico da pesquisa, enquanto Souza e Cortez (2016), ODUM (1996), ONU (2019), SOUSA (2017, 2020, 2021), Takada (2014), Oster (2013), Teixeira (2014), Wanderley (2020), Ribeiro (2016) e UNDESA (2024) fornecem subsídios teóricos e metodológicos sobre bioenergia e seus impactos socioeconômicos e ambientais. Essa triangulação sustenta a relevância acadêmica e prática da pesquisa, destacando sua contribuição para o avanço da bioeconomia regional.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### **3.1 A agroenergia como alternativa sustentável: perspectivas históricas, científicas e relevância acadêmica**

A produção de energia a partir da biomassa de origem agrícola, conhecida como agroenergia, tem ganhado destaque como uma alternativa sustentável diante da necessidade global de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Essa modalidade energética baseia-se no uso de matérias-primas como cana-de-açúcar, grãos e diversos tipos de resíduos agropecuários (esterco bovino, cama de frango, entre outros), promovendo a integração entre o setor agrícola e o energético (SOUZA; CORTEZ, 2016).

Segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA, 2024), a agroenergia representa atualmente a segunda maior fonte de energia primária do Brasil, com o etanol superando a gasolina em consumo e o biodiesel ocupando posição de destaque na matriz energética nacional. Esse dado confirma o avanço político e tecnológico da agroenergia como eixo estruturante da bioeconomia brasileira, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2015).

Historicamente, o uso de biocombustíveis no Brasil remonta ao início do século XX, com experimentações do uso de álcool como combustível datadas de 1925 (ANFAVEA, 2024). A criação do Programa Nacional do Álcool (ProÁlcool), em 1975, representou um marco institucional de grande impacto. Posteriormente, o lançamento

do Plano Nacional de Agroenergia (PNA) e do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) consolidaram diretrizes estratégicas para o setor. A fundação da Embrapa Agroenergia, com foco em etanol, biodiesel, florestas energéticas e coprodutos, complementou esse movimento institucional.

No âmbito acadêmico, destaca-se a criação, em 2008, do Programa de Pós-Graduação em Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins (UFT), primeiro do país com foco exclusivo em formação científica na área. A relevância do programa pode ser constatada na análise de seu repositório, que contabiliza 78 dissertações diretamente ligadas à agroenergia, entre 2012 e 2022. Essas pesquisas abrangem desde o estudo de cultivares agroenergéticas (batata-doce, sorgo, soja, mandioca) à caracterização de resíduos agroindustriais, passando pela investigação de processos como pirólise e fermentação, com foco em biocombustíveis de primeira, segunda e terceira geração (ALEXANDRE, 2013; ALMEIDA, 2014; ALVIM, 2014; ANDRADE, 2015).

Do ponto de vista qualitativo, observa-se a emergência de temas recorrentes como metodologias de conversão de biomassas, otimização de processos e a busca por substratos alternativos e sustentáveis. Isso evidencia uma preocupação científica com a viabilidade econômica e ambiental da produção de bioenergia, em consonância com os fundamentos da agroecologia, conforme proposto por Altieri (2012). A valorização de resíduos, subprodutos e culturas adaptadas às condições edafoclimáticas locais também está alinhada às diretrizes da CAPES (2019), que orienta a pesquisa interdisciplinar com foco em soluções sustentáveis para problemas complexos.

Com o objetivo de ampliar o impacto das dissertações no campo da bioenergia, foram identificadas e sugeridas ações estratégicas que visam aproximar a produção acadêmica das necessidades do setor produtivo. O Quadro 2, a seguir apresenta um conjunto de ações propostas acompanhadas de seus respectivos objetivos, os quais refletem a busca por maior aplicabilidade e inovação nas pesquisas desenvolvidas no âmbito do mestrado

Quadro 2 - Integração PPGAD & setor produtivo

<b>AÇÃO PROPOSTA</b>	<b>OBJETIVO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Firmar convênios com cooperativas e agroindústrias</li> <li>• Implementar laboratórios de prototipagem tecnológica (bioenergia)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Favorecer a aplicação dos resultados das dissertações</li> <li>• Estimular a inovação e o uso prático dos resultados</li> </ul>

<b>AÇÃO PROPOSTA</b>	<b>OBJETIVO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criar editais internos de fomento a pesquisas aplicadas</li> <li>• Desenvolver projetos interinstitucionais com empresas de bioenergia</li> <li>• Oferecer disciplinas optativas sobre empreendedorismo em bioenergia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incentivar projetos com potencial de transferência tecnológica</li> <li>• Conectar o mestrado com demandas reais do mercado</li> <li>• Despertar visão de negócio nos mestrandos</li> </ul>

Fonte: Elaboração Própria (2025)

Com o objetivo de ampliar o impacto das dissertações no campo da bioenergia, foram identificadas e sugeridas ações estratégicas que visam aproximar a produção acadêmica das necessidades do setor produtivo. O Quadro 2, a seguir apresenta um conjunto de ações propostas acompanhadas de seus respectivos objetivos, os quais refletem a busca por maior aplicabilidade e inovação nas pesquisas desenvolvidas no âmbito do mestrado.

A primeira ação, que consiste em firmar convênios com cooperativas e agroindústrias, busca favorecer a aplicação direta dos resultados das dissertações, possibilitando que os conhecimentos gerados sejam efetivamente aproveitados por setores produtivos locais (FALEIRO, 2019; GIACOMINI, 2012).

A implementação de laboratórios de prototipagem tecnológica voltados à bioenergia surge como uma estratégia para estimular a inovação e o uso prático dos resultados obtidos nos trabalhos acadêmicos. Esses espaços funcionariam como ambientes de experimentação e desenvolvimento de soluções aplicadas, promovendo o espírito empreendedor e tecnológico entre os discentes (FLEXA, 2019; FIGUEIREDO, 2020; IPB, 2024).

No sentido de fortalecer a cultura da pesquisa aplicada, propõe-se também a criação de editais internos de fomento, com o objetivo de incentivar projetos com potencial de transferência tecnológica. Essa medida está alinhada às metas do ODS 7, que preconiza o acesso a uma energia moderna, segura e sustentável, fomentando inovação e eficiência (IPEA, 2024; IRENA, 2022).

Outra ação relevante é o estímulo ao desenvolvimento de projetos interinstitucionais com empresas da área de bioenergia, promovendo a conexão entre o mestrado e demandas reais do mercado. Essa articulação contribui para a formação de profissionais mais preparados para os desafios do setor energético, em consonância com os esforços de descarbonização e transição energética promovidos nacional e internacionalmente (IBP, 2023; EPE, 2024; IPB, 2024).

Por fim, a proposta de oferecer disciplinas optativas sobre empreendedorismo em bioenergia visa despertar uma visão de negócio nos mestrandos, estimulando o desenvolvimento de competências empreendedoras e a identificação de oportunidades de atuação inovadora a partir dos próprios projetos acadêmicos (FRANÇA, 2015; FLORES JUNIOR, 2014; FAO, 2024).

Essas ações, quando articuladas de forma estratégica, podem contribuir significativamente para transformar o conhecimento gerado no mestrado em bioenergia em soluções tecnológicas, sociais e econômicas de alto impacto.

Quantitativamente, o levantamento de dados permitiu identificar que termos como "cultivares", "biomassa", "resíduos" e "potencial" figuram entre os mais frequentes nos títulos das dissertações. Essa incidência indica um foco recorrente na caracterização físico-química e na produtividade das matérias-primas estudadas, reforçando a tendência da pesquisa nacional em explorar fontes energéticas alternativas de maneira científica e sistematizada (BONAMIGO, 2014; BARBOSA, 2016; BERNARDO, 2022).

A partir da sistematização dessas dissertações, foi possível confrontar os dados coletados com a literatura nacional e internacional sobre biomassa e biocombustíveis. Estudos como os de Bora *et al.* (2024) sobre microalgas e bioenergia, e Bolfe *et al.* (2024) sobre a expansão agrícola em áreas degradadas, corroboram a relevância de investir em tecnologias que aproveitem a biodiversidade brasileira e a disponibilidade de substratos energéticos.

Essa análise integrada aponta para a importância da pesquisa acadêmica como eixo estruturante da política energética e ambiental. Ao identificar lacunas, tendências e potencialidades, a produção científica no campo da agroenergia contribui decisivamente para o avanço do conhecimento e para a construção de uma matriz energética mais limpa, resiliente e alinhada aos preceitos da sustentabilidade e da transição energética justa (ANP, 2024; APROBIO, 2024).

Quadro 3 - Algumas Culturas agroenergéticas apresentadas nas dissertações

CULTURA	NOME CIENTÍFICO	TIPO DE BIOCOMBUSTÍVEL	VANTAGENS
Batata-doce,	<i>Ipomoea batatas</i>	Etanol 1G e 2G	Alta produção de amido, cultivo em solos pobres
Sorgo sacarino	<i>Sorghum bicolor</i>	Etanol 1G	Alta produtividade em ambientes semiáridos

CULTURA	NOME CIENTÍFICO	TIPO DE BIOCOMBUSTÍVEL	VANTAGENS
<b>Milho</b>	<i>Zea mays</i>	Etanol 1G	Disponibilidade e tecnologia consolidada
<b>Soja</b>	<i>Glycine max</i>	Biodiesel	Teor elevado de óleo nos grãos
<b>Mandioca</b>	<i>Manihot esculenta</i>	Etanol 1G	Raízes ricas em amido, boa adaptação
<b>Babaçú</b>	<i>Orbignya speciosa</i>	Biodiesel / Biochar	Utilização integral (óleo e casca), abundância regional
<b>Macaúba</b>	<i>Acrocomia aculeata</i>	SAF / Etanol 2G	Alto rendimento de óleo e uso em SAF
<b>Capim-elefante</b>	<i>Pennisetum purpureum</i>	Etanol 2G	Alta produtividade de biomassa lignocelulósica

Fonte: Elaboração Própria (2025)

O Quadro 3 apresenta um breve resumo das culturas agroenergéticas como batata-doce, sorgo, milho, soja, mandioca, babaçú, macaúba e capim-elefante, evidenciando seu potencial na produção de biocombustíveis (etanol, biodiesel, biochar e SAF). Suas vantagens incluem alta produtividade, adaptação a diferentes solos e climas, e aproveitamento integral, contribuindo para a sustentabilidade energética e a transição para uma matriz mais limpa e diversificada.

Assim, o Mestrado em Agroenergia da UFT se consolida como uma experiência acadêmica inovadora e essencial para a formação de recursos humanos capazes de propor soluções científicas para os desafios da bioenergia, contribuindo significativamente para o desenvolvimento regional e para a bioeconomia nacional.

### 3.1.1 Alinhamento com políticas públicas e tendências de mercado

A análise do acervo científico do Mestrado em Agroenergia revela uma forte convergência com políticas públicas estruturantes, como o ProÁlcool, RenovaBio, PNPB, SAF e o programa Combustível do Futuro. Os estudos desenvolvidos oferecem subsídios técnicos e metodológicos para o aprimoramento dessas políticas, especialmente no que tange à viabilidade técnica, econômica e ambiental das matérias-primas utilizadas. A predominância de pesquisas voltadas à diversificação de culturas e uso de resíduos reforça a tendência de mercado por biocombustíveis avançados, alinhados às metas climáticas e aos compromissos assumidos no Acordo de Paris (ONU, 2015).

Essas evidências demonstram que a produção acadêmica do PPGAD não apenas acompanha, mas também influencia os rumos das políticas energéticas nacionais. Conforme Souza e Cortez (2016), o avanço dos biocombustíveis no Brasil depende diretamente da integração entre produção científica, incentivos econômicos e políticas de Estado. Além disso, a valorização de sistemas agroenergéticos sustentáveis está em sintonia com os princípios agroecológicos defendidos por Altieri (2012), que propõe uma agricultura baseada em diversidade, resiliência e baixo impacto ambiental. Nesse sentido, o fortalecimento da interdisciplinaridade científica promovido pela CAPES (2019) se mostra essencial para o avanço de soluções tecnológicas integradas e sustentáveis.

Quadro 4 - Lacunas e Recomendações

DIMENSÃO	LACUNAS IDENTIFICADAS	RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS
<b>Temática</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pouca ênfase na produção de biocombustíveis para aviação e diesel verde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ampliar estudos sobre SAF (Sustainable Aviation Fuel) e diesel renovável</li> </ul>
<b>Metodológica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Predominância de análises laboratoriais; poucos estudos com modelagem ou geotecnologia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integrar técnicas como geoprocessamento, LCA (análise de ciclo de vida) e IoT</li> </ul>
<b>Geográfica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concentração de estudos na região Norte e Centro-Oeste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Expandir pesquisas para o Nordeste semiárido e biomas como o Cerrado e Caatinga</li> </ul>
<b>Política-Pública</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falta de avaliação de impacto das políticas recentes como o PL 528/2020</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar análises comparativas e projeções baseadas em cenários de política energética</li> </ul>
<b>Econômica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pouca mensuração dos custos logísticos e retorno econômico de cadeias emergentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inserir análise de custo-benefício e viabilidade de mercado de novos biocombustíveis</li> </ul>

Fonte: Elaboração Própria (2025)

No Quadro 4, realizou-se um levantamento das pesquisas acadêmicas em Agroenergia revela diversas lacunas que devem ser abordadas para fortalecer o desenvolvimento da área no Brasil. Em termos temáticos, observa-se uma baixa ênfase na produção de biocombustíveis voltados à aviação, como o *Sustainable Aviation Fuel* (SAF), e ao diesel verde. Nesse sentido, recomenda-se a ampliação dos estudos sobre essas alternativas renováveis, essenciais para a descarbonização do setor de transportes.

Na dimensão metodológica, há uma predominância de análises laboratoriais e uma carência de estudos que empreguem modelagem, geoprocessamento ou geotecnologia. Para superar essa limitação, sugere-se a integração de técnicas mais avançadas, como o uso de ferramentas de geoprocessamento, análise do ciclo de vida (LCA) e Internet das Coisas (IoT), que podem proporcionar uma abordagem mais sistêmica e abrangente.

Quanto ao aspecto geográfico, os estudos estão majoritariamente concentrados nas regiões Norte e Centro-Oeste, o que indica uma lacuna em outras áreas do país. Assim, é recomendável expandir as pesquisas para o Nordeste brasileiro, incluindo biomas como o Cerrado e a Caatinga, que apresentam potencial energético ainda pouco explorado.

Na dimensão política-pública, destaca-se a ausência de avaliações sobre o impacto de políticas recentes, como o Projeto de Lei 528/2020, que trata do mercado de carbono. Portanto, é fundamental realizar análises comparativas e projeções baseadas em diferentes cenários de políticas energéticas, contribuindo para o planejamento estratégico do setor.

Por fim, na dimensão econômica, observa-se uma escassa mensuração dos custos logísticos e do retorno econômico das cadeias emergentes de biocombustíveis. Recomenda-se, portanto, a inclusão de análises de custo-benefício e viabilidade de mercado para os novos biocombustíveis, com o objetivo de apoiar a tomada de decisões e a atração de investimentos.

Portanto, a produção acadêmica do PPGAD cumpre um papel estratégico ao fornecer evidências empíricas e análises aplicadas, fortalecendo os marcos regulatórios e a segurança energética nacional, enquanto contribui de forma relevante para o desenvolvimento regional, a valorização da biodiversidade brasileira e a transição para uma economia de baixo carbono.

### **3.2 Produção de culturas agroenergéticas**

A sistematização dos estudos produzidos no Mestrado em Agroenergia da UFT revela forte incidência de pesquisas dedicadas às culturas bioenergéticas, especialmente àquelas adaptadas ao bioma Cerrado. Entre as mais investigadas estão a batata-doce (*Ipomoea batatas*) (ALVIM, 2014; BARBOSA, 2016), o sorgo

sacarino (*Sorghum bicolor*), a mandioca (*Manihot esculenta*), a soja (*Glycine max*) (ALMEIDA, 2014) e o milho (*Zea mays*), refletindo não apenas o potencial energético dessas espécies, mas também a adequação às condições edafoclimáticas da região Norte. Os dados obtidos incluem análises bromatológicas, teores de carboidratos e óleos, produtividade por hectare e viabilidade agrônômica (BATISTA, 2016).

As metodologias utilizadas concentram-se em testes de campo, ensaios laboratoriais e avaliações químicas, com crescente inserção de ferramentas digitais, especialmente a partir da digitalização do currículo do curso. Esse processo permitiu o uso de sensores de solo, softwares de análise espectral e aplicativos de simulação agrônômica. Com isso, os estudos passaram a apresentar maior rigor técnico e possibilidades de replicação, o que fortalece a integração entre ciência aplicada e desenvolvimento territorial.

A ênfase na produtividade, adaptabilidade regional e teor de biomassa em culturas como sorgo sacarino, batata-doce, braquiária, mandioca e palma de óleo revela o compromisso da pesquisa com soluções energéticas contextualizadas à realidade brasileira. Os dados gerados subsidiaram recomendações para o RenovaBio e para o SAF (Sistema Agroflorestal com Fins Energéticos), reforçando a relevância dessas espécies para a segurança energética e alimentar. O currículo do mestrado precisa refletir essa diversidade produtiva, com inserção de módulos de geotecnologia, zoneamento agroecológico e gestão de culturas bioenergéticas.

Tabela 1 - Dissertações por tipo de biocombustível

<b>ANO</b>	<b>Bio-óleo</b>	<b>Biodiesel</b>	<b>Compósitos</b>	<b>Energia elétrica alternativa</b>	<b>Etanol</b>	<b>Outros</b>
<b>2012</b>	0	0	0	0	1	3
<b>2013</b>	2	1	0	0	0	6
<b>2014</b>	0	1	1	0	0	7
<b>2015</b>	2	0	0	0	4	5
<b>2016</b>	0	2	0	1	3	5
<b>2017</b>	2	1	0	0	2	2
<b>2018</b>	0	0	0	0	6	0
<b>2019</b>	1	0	0	1	4	1
<b>2020</b>	0	3	2	0	4	2
<b>2021</b>	0	0	0	0	1	0
<b>2022</b>	0	0	0	1	0	1

Fonte: Elaboração Própria (2025)

A Tabela 1 evidencia a diversidade temática das dissertações do Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital (PPGAD/UFT) no período de 2012 a 2022, classificadas conforme o tipo de biocombustível abordado: bio-óleo, biodiesel, compósitos energéticos, energia elétrica alternativa, etanol e outros (categoria que inclui biogás, biochar, microalgas, entre outros produtos energéticos).

Observa-se que o etanol foi o tipo de biocombustível mais recorrente nas dissertações, com destaque para os anos de 2015, 2018, 2019 e 2020, refletindo o interesse consolidado nas rotas de produção de etanol de primeira geração (1G), principalmente a partir de culturas como batata-doce, cana-de-açúcar e mandioca. Esse padrão acompanha a relevância histórica do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) e os incentivos do programa RenovaBio.

O biodiesel apresenta participação significativa em anos como 2016 e 2020, indicando avanços em pesquisas sobre oleaginosas como soja, macaúba e resíduos industriais. Por sua vez, o bio-óleo aparece de forma pontual, com maior expressão em 2013, 2015 e 2017, geralmente vinculado a processos de pirólise de biomassas lignocelulósicas.

A categoria compósitos, ainda emergente, surge apenas em 2014 e 2020, possivelmente vinculada à utilização de resíduos agroindustriais na produção de materiais híbridos energéticos. As dissertações sobre energia elétrica alternativa, como a cogeração ou uso de sistemas fotovoltaicos integrados a sistemas agroenergéticos, são incipientes, com registros apenas em 2016, 2019 e 2022.

Já a categoria outros registra números consistentes em quase todos os anos, o que demonstra o esforço do programa em explorar rotas alternativas de conversão energética, aproveitamento de resíduos e integração com tecnologias emergentes. De modo geral, a tendência observada sugere uma diversificação nas linhas de pesquisa, com maior atenção recente para soluções energéticas alternativas e compósitos de base biológica, o que está alinhado com os avanços em digitalização, sustentabilidade e inovação tecnológica no setor agroenergético.

A adoção de culturas agroenergéticas tem sido uma das alternativas mais promissoras para diversificar a matriz energética brasileira, especialmente frente aos desafios da sustentabilidade e da transição energética (MAPA, 2024; MILANEZ *et al.*, 2022). Nesse contexto, o Programa de Pós-Graduação em Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins (PPGAD) tem desempenhado papel fundamental

no avanço do conhecimento científico por meio de estudos voltados à viabilidade técnica, agrônômica e energética de diferentes espécies vegetais.

Tabela 2 - Resumo das culturas agroenergéticas

<b>CULTURA ENERGÉTICA</b>	<b>Nº DE DISSERTAÇÕES (ESTIMADO)</b>	<b>TIPO DE BIOCOMBUSTÍVEL</b>	<b>FOCO TÉCNICO</b>	<b>PRINCIPAIS LACUNAS</b>
<b>Batata-doce</b>	19	Etanol (1ª e 2ª geração)	Ramas, raízes, processos enzimáticos e fermentativos	Escalabilidade industrial, ACV, impactos ambientais
<b>Mandioca</b>	4	Etanol (1ª e 2ª geração)	Amido, co-fermentação, biodigestores	Viabilidade econômica e análise integrada
<b>Macaúba</b>	3	Biodiesel, Etanol 2G	Óleo, resíduos lignocelulósicos, calorífico	Validação tecnológica em larga escala
<b>Babaçú</b>	3	Biodiesel, Biochar	Óleo, biochar, REDD+	Articulação com políticas públicas
<b>Pequi</b>	2	Etanol	Extração de óleo, hidrólise	Validação em escala piloto
<b>Mamona</b>	2	Biodiesel, Biomateriais	Compósitos com resíduos vegetais	Análise de mercado e inserção industrial
<b>Palma de óleo</b>	1	Biodiesel	Rendimento e cultivo irrigado	Pouca recorrência em estudos do PPGAD
<b>Capins (Napier/Elefante)</b>	2	Etanol 2G	Açúcares redutores e fermentação	Falta de dados sobre rendimento energético
<b>Braquiárias</b>	2	Etanol 2G	Adubação e eficiência de hidrólise	Inserção em sistemas agroenergéticos integrados

Fonte: Elaboração Própria (2025)

A Tabela 2, apresentada neste trabalho, sistematiza informações de pesquisas desenvolvidas no âmbito do PPGAD, com foco em culturas agroenergéticas. Ela reúne dados sobre o número de dissertações por cultura, tipos de biocombustíveis explorados, aspectos técnicos prioritários e lacunas principais identificadas. A organização desses elementos permite uma leitura estratégica do estado atual das pesquisas, além de apontar direções futuras para estudos e investimentos.

Destaque para a cultura da batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) sendo a cultura mais estudada, com 19 dissertações. Essa recorrência se justifica pelo seu elevado teor de amido e potencial de uso tanto para etanol de primeira quanto de segunda geração. Estudos como os de Gonçalves (2012), Macêdo (2017) e Lima (2018; 2020) investigam desde a fisiologia da planta até a otimização da hidrólise enzimática e a seletividade a herbicidas, demonstrando seu alto rendimento energético e versatilidade tecnológica. Gouvêa (2015) complementa essa visão com uma análise de patentes, evidenciando o avanço tecnológico associado à cultura.

Outras culturas como mandioca, macaúba, babaçú e capins energéticos (Napier/Elefante) também aparecem com destaque, ainda que em menor número de estudos. A macaúba, por exemplo, apresenta potencial para produção de biodiesel e etanol de segunda geração, sendo valorizada por seu conteúdo oleaginoso e resíduos lignocelulósicos (GIACOMINI, 2012). Já o babaçú, além do uso do óleo, apresenta potencial para geração de biochar, conforme evidenciado por Moraes Júnior (2022), sendo apontado como uma alternativa sustentável com possibilidade de integração a mecanismos como o REDD+.

Destaque também para algumas culturas, que apresentam desafios técnicos e econômicos como a falta de validação em escala piloto (caso do pequi) ou ausência de dados sobre rendimento energético (como nos capins e braquiárias). Essa constatação é coerente com os limites discutidos por Meadows *et al.* (2004), que alertam para a necessidade de planejamento sistêmico e inovação sustentável em projetos de base biológica.

Outro ponto crítico é a baixa articulação com políticas públicas e escalabilidade industrial de certas cadeias produtivas, o que compromete a viabilidade de inserção dessas culturas em sistemas agroenergéticos integrados. A esse respeito, instrumentos legais como a Lei nº 15.042/2024 podem oferecer oportunidades normativas para fomentar a produção descentralizada e o aproveitamento de biomassas regionais, que possibilitam essa integração entre conhecimento técnico, econômico e ambiental, conforme propõe o Plano Nacional de Agroenergia (MAPA, 2006).

### 3.2.1 Principais culturas agroenergéticas

As três principais culturas energéticas brasileiras são a soja, o milho e a cana-de-açúcar, que juntas ocupam uma área de 56,8 milhões de hectares, representando 6,9% do território nacional e mais de 70% da área destinada à agricultura no Brasil (EPE, 2024). O cultivo dessas culturas, já consolidadas na matriz agroenergética brasileira, posiciona o país como o segundo maior produtor de culturas energéticas do mundo, sendo a cana-de-açúcar a principal fonte de etanol (ANP, 2024; APROBIO, 2024).

O milho e a soja têm papel estratégico na diversificação das fontes de biocombustíveis e redução da dependência de combustíveis fósseis. A soja é a principal fonte de matéria-prima para o biodiesel no Brasil, enquanto o milho responde por cerca de 16% da produção total de etanol em 2023 (BEN, 2024). A cana-de-açúcar, por sua vez, é responsável por mais de 80% do etanol produzido no país.

A análise das dissertações do PPGA da UFT (PPGAD) revela a predominância da soja nos estudos, seguida da cana-de-açúcar, em função da disponibilidade de matéria-prima no estado do Tocantins e das condições edafoclimáticas da região (CARVALHO, 2020; MONTEIRO, 2012; HACKENHAAR, 2014). Os estudos reforçam a relação entre produtividade, adaptação genética, adubação e eficiência energética.

A cana-de-açúcar é investigada em pesquisas sobre otimização do uso do vapor (XAVIER FILHO, 2016), uso de seus resíduos para obtenção de compósitos sustentáveis (FIGUEIREDO, 2020; LOPES, 2020), e desenvolvimento de etanol 2G a partir de seus derivados (SANTOS, 2015).

O milho, além de seu papel direto na produção de etanol, aparece nas dissertações com foco na adubação nitrogenada e inoculação com *Azospirillum* brasileiro para aumento do rendimento de óleo e proteína (DIAS, 2016; MARCOLINI, 2018), bem como na fermentação conjunta com mandioca e batata-doce (SILVA, 2013).

A consolidação dessas culturas está alinhada ao Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2007) e à Lei 13.576/2017, que institui o RenovaBio, apontando a integração entre segurança energética, sustentabilidade e desenvolvimento regional.

Tabela 3 - Agricultura e o valor da produção

<b>POSIÇÃO</b>	<b>PRODUTO</b>	<b>VALOR DA PRODUÇÃO (MIL REAIS)</b>
1º	Soja	9.825.827,00
2º	Milho em grão	1.946.271,00
3º	Arroz	1.359.992,00
4º	Mandioca	475.926,00
5º	Cana-de-açúcar	415.996,00
6º	Abacaxi	346.099
7º	Melancia	113.333,00
8º	Banana	85.872,00
9º	Sorgo	74.779,00
10º	Algodão herbáceo	53.581,00
11º	Outros	54.779,00

Fonte: IBGE (2025)

Na Tabela 3, observa-se o valor em 2023, a agricultura brasileira apresentou um desempenho expressivo, com destaque para a produção de grãos e frutas. Segundo dados da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a soja se manteve como a principal cultura do país, tanto em área plantada quanto em valor de produção. Com um total de R\$ 9,83 bilhões, a soja representou a maior fatia do valor gerado pela agricultura nacional, consolidando-se como a espinha dorsal do agronegócio brasileiro.

Na segunda posição aparece o milho em grão, com um valor de produção de R\$ 1,95 bilhão, seguido pelo arroz, com R\$ 1,36 bilhão. Esses três produtos representam os pilares da produção de grãos no Brasil, sustentando tanto o mercado interno quanto as exportações.

Entre as culturas permanentes e alimentares, a mandioca (R\$ 475,9 milhões) e a cana-de-açúcar (R\$ 416 milhões) mantêm sua importância histórica, sobretudo em regiões como o Nordeste e o Sudeste, respectivamente. A produção de frutas tropicais também teve papel relevante, com o abacaxi destacando-se com R\$ 346 milhões, seguido pela melancia (R\$ 113 milhões) e a banana (R\$ 85,8 milhões).

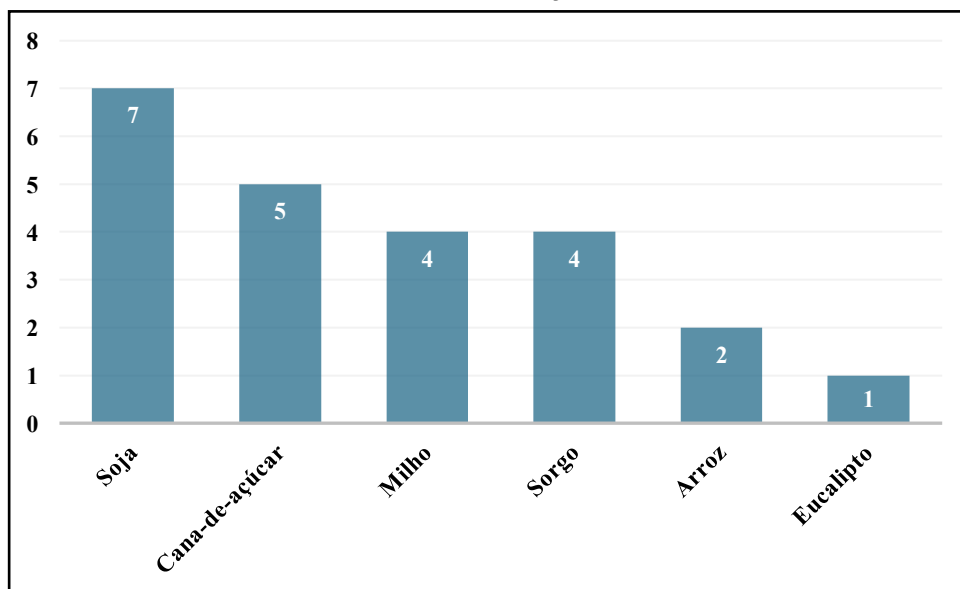
Outras culturas como o sorgo (R\$ 74,7 milhões), o algodão herbáceo (R\$ 53,5 milhões) e o grupo de outros produtos agrícolas (R\$ 54,7 milhões) também compõem o cenário agrícola, embora com menor participação no valor total da produção.

Esses dados, provenientes da PAM/IBGE, servem como base fundamental para políticas públicas, planejamento produtivo e investimentos no setor agropecuário, reforçando a importância da agricultura como motor econômico do Brasil.

### 3.2.2 Viabilidade de culturas emergentes

A partir da análise das 78 dissertações do PPGAD, observa-se a inserção crescente de culturas alternativas à soja, milho e cana-de-açúcar, destacando-se a batata-doce, mandioca, sorgo, arroz, eucalipto, babaçú e macaúba, entre outras. Tais estudos buscam alternativas com elevado rendimento de biomassa, adaptação a solos marginais e baixa exigência hídrica (BONAMIGO, 2014; BATISTA, 2016; BORGES, 2019).

Gráfico 1 - Quantidade vezes que as principais culturas energéticas foram citadas nos títulos das dissertações

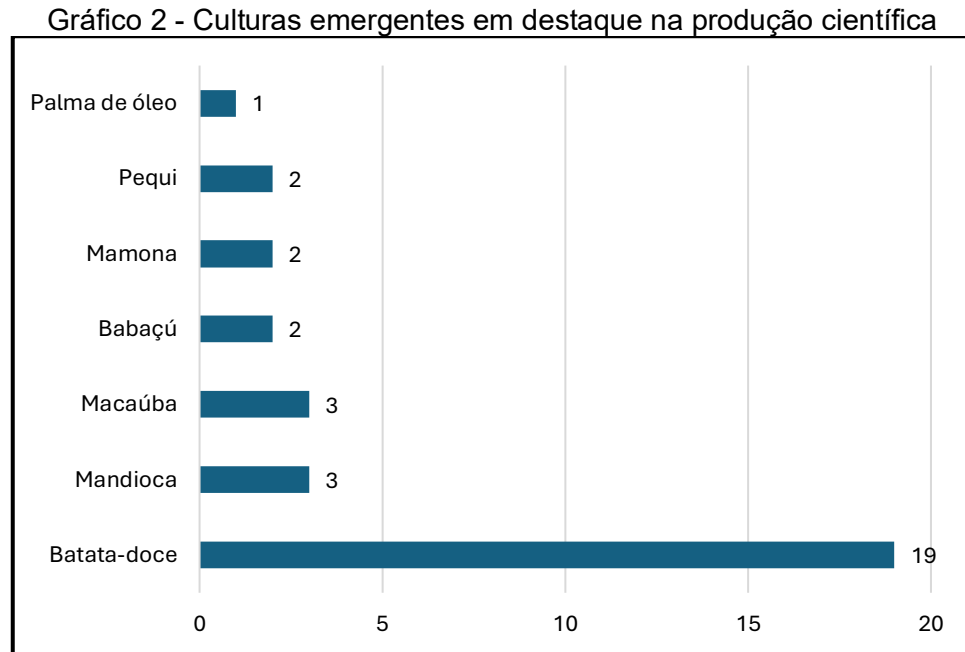


Fonte: Elaboração própria (2025)

O Gráfico 1 apresenta a quantidade de vezes que as principais culturas energéticas foram mencionadas nos títulos de dissertações, conforme levantamento realizado até o ano de 2025. Observa-se que a soja é a cultura mais citada, com 7 ocorrências, seguida pela cana-de-açúcar com 5 citações. O milho e o sorgo aparecem em sequência, ambos com 4 menções. O arroz foi citado 2 vezes, enquanto o eucalipto teve apenas 1 citação.

Esses dados sugerem que a soja, além de seu papel importante na alimentação e indústria, tem ganhado destaque também na área de bioenergia, possivelmente devido ao seu potencial para produção de biodiesel. A cana-de-açúcar, tradicionalmente associada à produção de etanol, continua sendo uma cultura relevante no contexto energético. As demais culturas apresentam menor frequência

de citação, o que pode indicar menor foco acadêmico ou aplicabilidade energética mais restrita no período analisado.



Fonte: Elaboração própria (2025)

No Gráfico 2, apresentado evidencia a atenção crescente da produção acadêmica brasileira voltada para culturas emergentes. Segundo os dados analisados, a batata-doce desponta com ampla vantagem, sendo mencionada 19 vezes em títulos de dissertações, o que sugere um interesse significativo em suas potencialidades econômicas, nutricionais e adaptabilidade agrônômica.

Outras culturas também aparecem com destaque, embora com menor frequência. A macaúba e a mandioca foram citadas 3 vezes cada, demonstrando um foco acadêmico moderado, possivelmente relacionado ao uso energético e alimentício dessas culturas.

Na sequência, aparecem pequi, mamona e babaçú, com 2 citações cada, e a palma de óleo, com apenas 1 citação. Essas culturas possuem grande potencial para desenvolvimento regional e bioeconomia, principalmente em áreas do Cerrado e da Amazônia.

A ênfase nas culturas emergentes revela uma tendência de diversificação da agricultura brasileira e uma busca por sistemas mais sustentáveis, resilientes e adequados às mudanças climáticas. A pesquisa acadêmica desempenha papel

fundamental nesse processo, apontando caminhos para o aproveitamento agrônomo, industrial e alimentar dessas espécies.

Ressalta-se que a batata-doce é a cultura emergente mais citada nas dissertações do PPGAD, em função de sua alta produtividade e aproveitamento integral da planta (SILVA, 2017; BARBOSA, 2016). Experimentos agrônômicos e químicos demonstraram seu potencial para etanol e coprodutos como adubo orgânico (MARSON, 2012).

O sorgo sacarino também se destaca pela adaptação ao clima semiárido e potencial bioenergético comparável ao da cana-de-açúcar (COELHO, 2020; GIACOMINI, 2012). Estudos indicam rendimentos promissores de etanol em regiões com baixa pluviosidade (SOUZA, 2018).

A mandioca, rica em amido, tem sido objeto de estudos para fermentação direta e co-digestão com esterco bovino (SANTOS, 2019), reforçando o princípio de biorrefinarias sustentáveis e aproveitamento de resíduos (GOUVÊA, 2015).

Culturas nativas como babaçú e macaúba são valiosas para o extrativismo e economia regional, oferecendo óleos vegetais com elevado poder calorífico (BONAMIGO, 2014; NUNES, 2015). O babaçú é explorado também na produção de biochar para aplicação agrícola (MORAES JÚNIOR, 2022).

O eucalipto surge como biomassa florestal relevante para a produção de pellets, carvão vegetal e energia de base renovável. Estudos com geotecnologias demonstram expansão significativa da eucaliptocultura no norte tocaninense (LUSTOSA, 2020), corroborando as projeções de expansão em áreas de pastagens degradadas (BOLFE *et al.*, 2024).

Tais resultados demonstram que as culturas emergentes podem ampliar a diversificação da matriz agroenergética brasileira e contribuir com a bioeconomia, alinhando-se aos princípios das gerações 2G e 3G de biocombustíveis (APROBIO, 2016; BORA *et al.*, 2024).

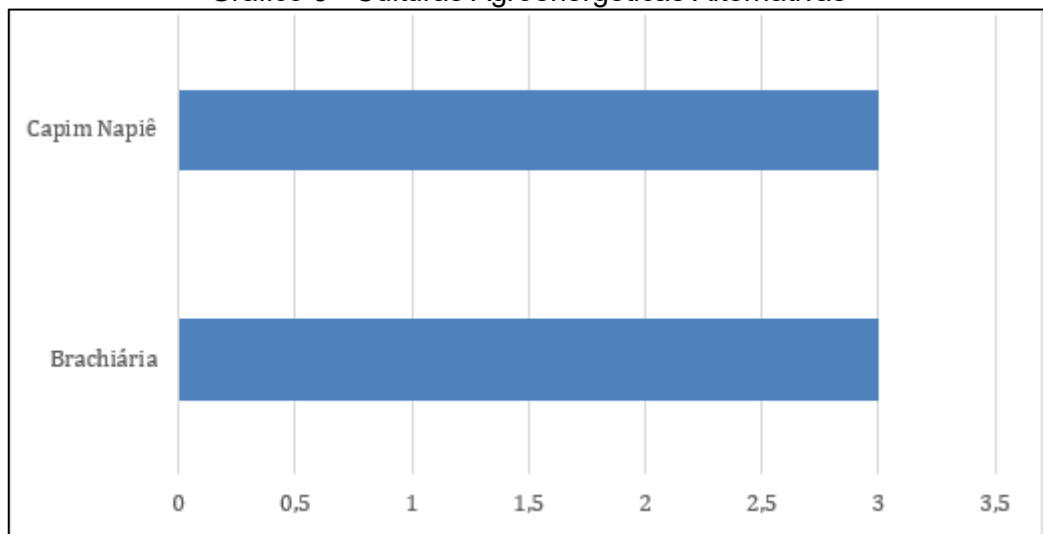
Ademais, a produção científica do PPGAD evidencia o papel da transformação digital na ampliação da capacidade analítica e experimentação remota em estudos com biomassa e culturas agroenergéticas. O uso de softwares de modelagem agrônomo-energética, banco de dados fenotípicos e a gestão integrada por AVAs são elementos observados em dissertações recentes (SILVA, 2019; BERNARDO, 2022), fortalecendo a formação de profissionais alinhados à transição digital do setor.

Dessa forma, a análise do corpus documental estudado comprova que o PPGAD contribui com dados, práticas e tecnologias essenciais para o fortalecimento da produção de biocombustíveis e para a consolidação de uma matriz energética sustentável, regionalmente adaptada e tecnologicamente integrada.

Diversas dissertações exploraram o uso de gramíneas tropicais como fonte de etanol 2G. Capins como elefante e napier foram avaliados por Mairesse (2015), com destaque para os teores de açúcares redutores. Já as braquiárias foram objeto de análise nos estudos de Batista (2016) e Santos (2016), com foco na cultivar híbrida CONVERT HD364 e suas respostas à adubação nitrogenada.

Essas gramíneas representam uma alternativa viável para uso de áreas subutilizadas, especialmente na integração lavoura-pecuária-bioenergia. Apesar do potencial técnico, as dissertações indicam a necessidade de estudos adicionais sobre conversão energética e viabilidade econômica.

Gráfico 3 - Culturas Agroenergéticas Alternativas



Fonte: Elaboração própria (2025)

O Gráfico 3 apresenta a frequência com que os tipos de capim Napier e o capim Braquiária, são citados nos títulos das dissertações analisadas no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Agroenergia (PPGAD). Ambos aparecem três vezes, evidenciando equilíbrio na atenção dada a essas gramíneas nos estudos.

A presença dessas gramíneas no corpus de dissertações reforça sua importância no cenário agroenergético, principalmente como matéria-prima para etanol de segunda geração e outros biocombustíveis. O Capim Napier (*Pennisetum*

*purpureum*), por exemplo, é uma cultura de rápido crescimento e alto rendimento de biomassa, características que o tornam atrativo para processos de conversão bioquímica (LUZ, 2018; MAIRESSE, 2015).

Já a Braquiária (*Brachiaria spp.*), embora tradicionalmente associada à pastagem, tem se mostrado viável como fonte energética alternativa, sobretudo quando integrada a sistemas de produção que valorizam o uso de resíduos agroindustriais (MARSON, 2012). Esses dados evidenciam um potencial ainda em expansão, sendo o número reduzido de dissertações um indicativo de lacuna científica e oportunidade de pesquisa.

Os trabalhos de Luz (2018) e Mairesse (2015) são fundamentais para entender os avanços no uso de capins na produção de etanol de segunda geração, destacando técnicas como pré-tratamentos com líquidos iônicos e complexos enzimáticos hidrolíticos. Já Marson (2012) discute a utilização de resíduos da batata-doce como adubo para Braquiária, o que ilustra bem o conceito de economia circular e integração agroenergética.

Além disso, esse cenário está em consonância com o Plano Nacional de Agroenergia (MAPA, 2006) e com diretrizes recentes do Ministério de Minas e Energia (2022) que estimulam o aproveitamento de biomassa lignocelulósica como estratégia para diversificação e sustentabilidade da matriz energética.

### **3.3 Produção de biocombustíveis**

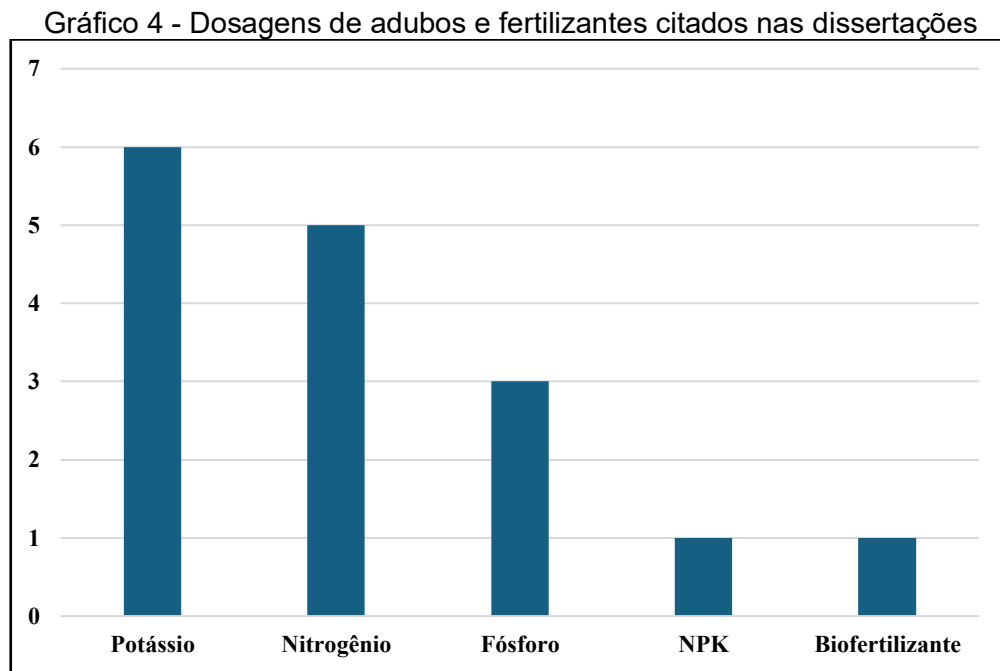
#### **3.3.1 Avanços agronômicos e melhoramento genético nas culturas agroenergéticas**

Diante da necessidade de diversificação das fontes de energia e da crescente demanda por biocombustíveis, os avanços em melhoramento genético e técnicas agronômicas tornaram-se cada vez mais relevantes. O melhoramento genético permite o desenvolvimento de cultivares mais produtivos, resistentes a pragas e doenças, adaptáveis a condições climáticas adversas e com maior eficiência na produção de biomassa (SANTANA, 2013; COSTA, 2015).

Concomitantemente, técnicas agronômicas inovadoras, como o uso de sistemas de cultivo integrados, rotação de culturas e práticas de manejo sustentável, contribuem para a produtividade e viabilidade econômica das culturas destinadas à produção de bioenergia (TOLLER, 2016; GIACOMINI, 2012). A combinação dessas

abordagens amplia a oferta de biomassa, preserva os recursos naturais e promove a segurança alimentar.

O Gráfico 4 apresenta as dosagens de adubos e fertilizantes mais citadas nas dissertações do PPGAD, sendo o potássio o nutriente mais mencionado nos experimentos voltados ao aumento da produtividade de cultivares agroenergéticas.



Fonte: Elaboração própria (2025).

As análises agronômicas revelam a importância de fatores como densidade populacional, fonte de nutrientes e épocas de plantio. Carvalho (2020) mostrou que populações de soja em torno de 300 mil plantas/ha apresentaram maiores teores de proteína, destacando a cultivar NS 8383 RR. Borges (2019) demonstrou que a combinação de cloreto de potássio com remineralizador aumentou significativamente a produtividade e o teor de amido das cultivares de batata-doce Duda, Amanda e Beatriz.

Santos (2015) identificou divergência genética entre genótipos de milho sob diferentes níveis de nitrogênio, reforçando a influência do nutriente nas características de grãos. Gonçalves (2012), por sua vez, observou aumento expressivo na produtividade de raízes e teor de amido em batata-doce com diferentes doses de NPK.

Estudos como os de Monteiro (2012) e Almeida (2014) destacam a eficácia de métodos estatísticos para avaliar a adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja visando à produção de óleo e biodiesel. Giacomini (2012), Coelho (2020) e Souza

(2018) demonstraram o potencial do sorgo sacarino como matéria-prima para etanol, com desempenho diferenciado entre cultivares em função do ambiente e manejo.

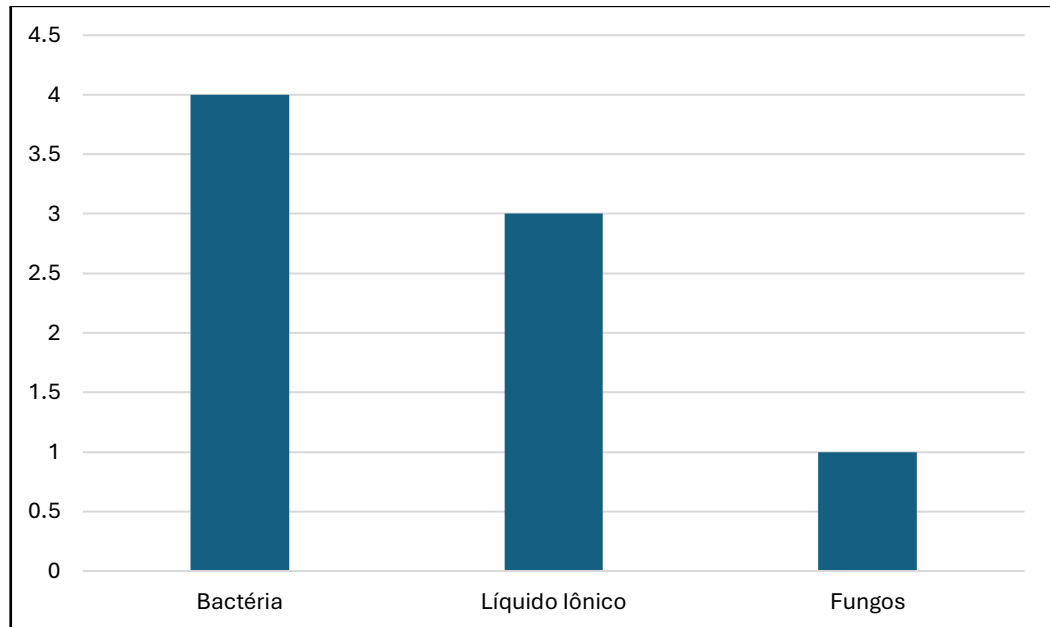
A produção de mudas mais eficientes (COSTA, 2015), a utilização de inoculantes biológicos como *Azospirillum* e *Bradyrhizobium* (DOURADO, 2017; MARCOLINI, 2018) e o uso de herbicidas seletivos (LIMA, 2018) são estratégias que aumentam o rendimento de biomassa e reduzem impactos ambientais. Mairesse (2015) e Luz (2018) comprovaram que o uso de microrganismos e líquidos iônicos nos processos de pré-tratamento potencializa a produção de etanol de segunda geração, ao aumentar a liberação de açúcares e facilitar a conversão enzimática.

Toller (2016) e Hackenhaar (2014) reforçam o papel da adubação potássica na produção de açúcares redutores e no aproveitamento agrônomo da soja para fins energéticos. Silva (2017) e Morais (2015) confirmam o potencial da batata-doce como matriz energética viável, tanto em produtividade quanto em qualidade da biomassa.

Esses estudos mostram que a evolução das práticas agrônomicas e do melhoramento genético analisadas nas dissertações do PPGAD reflete diretamente a transformação curricular vivenciada pelo programa. A incorporação de temas como etanol 2G, uso de resíduos, biotecnologia e bioinformática no currículo digital denota um alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 7 (Energia limpa e acessível) e o ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima), conforme estabelece a ONU (2019).

Dessa forma, os principais achados apontam para a centralidade das práticas agrônomicas sustentáveis e das estratégias de melhoramento como eixos estruturantes da produção de biocombustíveis no Tocantins. A análise crítica das dissertações evidencia, ainda, a maturidade científica e o compromisso do PPGAD em formar profissionais capacitados para atuar com inovação, sustentabilidade e impacto territorial no setor de agroenergia.

Gráfico 5 -Inoculações de fungos e bactérias citados nas dissertações



Fonte: Elaboração própria (2025).

O Gráfico 5 observa-se o uso de diferentes agentes biológicos e químicos nas dissertações analisadas, com destaque para as bactérias, que aparecem como o tipo de inoculante mais citado, com 4 ocorrências. Esse resultado reflete a importância das bactérias na degradação de biomassa e na produção de biocombustíveis, especialmente no contexto da digestão anaeróbica para obtenção de biogás e na engenharia metabólica para produção de etanol e biodiesel.

Na sequência, os Líquidos iônicos foram citados em 3 dissertações, sugerindo um crescente interesse por esses solventes alternativos que favorecem a quebra de lignocelulose e melhoram a eficiência de processos de conversão. A presença dessa categoria evidencia uma interface entre a biotecnologia e a química verde, alinhada com os princípios da sustentabilidade e inovação tecnológica no setor de agroenergia.

Os fungos, por sua vez, foram mencionados em apenas 1 dissertação, o que pode indicar um uso menos recorrente, embora tenham reconhecido potencial em processos de degradação enzimática de resíduos lignocelulósicos. A baixa frequência de uso pode estar relacionada a desafios de cultivo, controle e eficiência comparados às bactérias.

Este cenário aponta para uma predominância de estratégias microbianas baseadas em bactérias, mas também sugere uma abertura para abordagens

inovadoras envolvendo líquidos iônicos e fungos, sobretudo em pesquisas multidisciplinares que buscam otimizar cadeias produtivas de biocombustíveis.

Três experimentos foram conduzidos em Palmas-Tocantins, por Dourado (2017), com semeadura das cultivares de soja, TMG 1288RR e M 9144RR, em três épocas diferentes com cinco doses de aplicação foliar de *Azospirillum* (0, 100, 200, 300 e 400 ml ha<sup>-1</sup>) para verificar a influência da inoculação mista de *Azospirillum* por via foliar e *Bradyrhizobium* no tratamento de sementes, nos teores de proteína e óleo em grãos de soja para produção de biodiesel e agregação de valor nutricional, constando a inoculação mista, que aumentou significativamente os teores de proteína em todas as épocas e cultivares.

Lima (2018) avaliou os efeitos dos herbicidas pré-emergentes na cultura da batata-doce, mostrando que o tratamento atrazina + s-metolaclo-ro reduziu, significativamente, as variáveis Qy (0,395) e clorofila total (39,5) aos 14 dias após o plantio, em comparação à testemunha (0,552 e 42,9).

Em seu estudo Gonçalves (2012), que avaliou o efeito de diferentes doses de nitrogênio, fósforo e potássio na produção das cultivares de batata-doce Marcela, Amanda e Duda, para a produção de etanol, concluiu que a cultivar Marcela teve maior resposta à adubação com 57% de aumento na produtividade, seguida da Amanda com 48% e Duda com 30%. Ressaltando que a maior produtividade foi obtida com a cultivar Duda, seguida da Amanda e Marcela, independentemente das doses de nutrientes, destaque para produtividade e os teores de amido nas raízes tuberosas, que aumentaram em função do cultivar e das doses de nitrogênio, fósforo e potássio aplicados.

Aditivos, como os líquidos iônicos, desempenham um papel fundamental na interação com biomassas e culturas agroenergéticas, potencializando a produção de biocombustíveis. Segundo Luz (2018), a eficiência dos líquidos iônicos no pré-tratamento da biomassa de capim-elefante foi verificada, resultando em uma alta disponibilidade de glicose, o que favorece a produção de etanol. Pondera ainda que a eficiência da reutilização de líquidos iônicos no pré-tratamento da biomassa lignocelulósica, avaliando o rendimento da hidrólise, sintetizando diferentes líquidos iônicos com potencial para a desconstrução da celulose, quantificando a celulose antes e após o pré-tratamento para avaliar a eficiência do processo, recuperando os líquidos iônicos após o pré-tratamento, determinando o percentual de hidrólise da

biomassa após o tratamento com os diferentes líquidos iônicos e a eficiência da reutilização dos líquidos iônicos após um segundo ciclo de pré-tratamento.

Com objetivo de estudar o comportamento dos genótipos em diferentes épocas de semeadura sob efeitos da inoculação de *Azospirillum brasilense*, com ou sem nitrogênio, no teor de proteína e carboidratos em genótipos de milho cultivados na entressafra em baixa latitude foi objeto de estudo de Marcolini (2018), com 02 experimentos conduzidos em Palmas-Tocantins, com 03 repetições e 30 tratamentos, sendo a inoculação com *Azospirillum brasilense* obteve-se um aumento significativo no teor de proteína nos grãos em todos os genótipos e épocas.

Conduzido na estação experimental da Universidade Federal do Tocantins, o estudo de Silva (2017), avaliou a produtividade das cultivares de batata-doce Amanda e Duda para produção de etanol nas condições do Tocantins seguiu do plantio com preparo do solo, plantio das ramas das cultivares e manejo da cultura (adubação, capina), passando pela colheita das raízes tuberosas após sete meses e culminando no preparo da farinha de batata-doce a partir das raízes colhidas (lavagem, secagem, moagem).

O estudo de Santana (2013) com cruzamentos biparentais resultou na obtenção de 73 novos genótipos de batata-doce. A interação genótipo-ambiente ressalta a importância de avaliar os genótipos em diferentes regiões antes da recomendação para uso comercial, uma vez que 03 genótipos se destacaram em Palmas, com alta produtividade, teor de matéria seca e rendimento de etanol. Em Gurupi, outros 03 genótipos apresentaram os melhores resultados, além desses 06, houve interação entre genótipo e ambiente para a maioria das características avaliadas. Quatro genótipos apresentaram alta produtividade de raízes, boa resistência a insetos e alto rendimento em etanol, com potencial para produção industrial de etanol nas duas regiões estudadas.

Os maiores percentuais de hidrólise encontrados por Santos (2015) na investigação da eficácia de líquidos iônicos no pré-tratamento de biomassas lignocelulósicas provenientes de bagaço de cana-de-açúcar, palha de arroz e serragem de madeira, foram de: 68,2%, rendimento de etanol, 47%, e conversão de celulose em glicose, 80,6%, foram alcançadas nos experimentos com o bagaço de cana-de-açúcar.

A diversidade genética proporcionada pela melhoria de cultivares pode contribuir para a sustentabilidade da produção de bioenergia, tornando-a mais

resiliente às mudanças climáticas e às variações no ambiente. Neste contexto vale frisar o estudo desenvolvido por Silva (2019) que trata do desenvolvimento de um banco de dados informações sobre rendimento, teor de amido, resistência a pragas e ciclo de vida de cultivares de batata-doce.

Com base na sistematização das dissertações produzidas no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital da Universidade Federal do Tocantins (PPGAD/UFT), foi possível identificar um conjunto de lacunas temáticas, metodológicas e geográficas que merecem atenção no planejamento de futuras investigações. O Quadro 5 resume essas lacunas e apresenta recomendações estratégicas para orientar a consolidação de uma agenda de pesquisa mais diversa, interdisciplinar e alinhada às demandas contemporâneas da transição energética sustentável.

Quadro 5 - Lacunas identificadas nas dissertações analisadas

CATEGORIA	LACUNA IDENTIFICADA	IMPLICAÇÕES/RECOMENDAÇÕES
<b>Culturas agroenergéticas</b>	Forte concentração em batata-doce, soja e cana-de-açúcar. Pouca atenção a culturas nativas ou regionais.	Estimular pesquisas com <b>espécies adaptadas ao bioma Cerrado</b> , como macaúba, pequi, baru e outras de uso múltiplo.
<b>Fontes de biomassa residual</b>	Poucos estudos aprofundam aspectos técnico-econômicos da utilização de resíduos (lodo, cama de frango, etc.).	Incentivar <b>avaliações de viabilidade</b> e análises ciclo de vida (ACV) de subprodutos agroindustriais locais.
<b>Geração dos biocombustíveis</b>	Predominância de estudos sobre biocombustíveis de <b>1ª geração</b> . Pouca ênfase nos de 2ª e 3ª geração.	Fomentar estudos em <b>tecnologias emergentes</b> , como etanol 2G, SAF (combustível de aviação) e hidrogênio verde.
<b>Aspectos socioeconômicos</b>	Abordagem limitada sobre impactos sociais e geração de renda no meio rural.	Inserir nas pesquisas <b>indicadores de impacto social</b> , gênero, economia circular e inovação social.
<b>Tecnologias de conversão</b>	Estudos com foco agrônomo predominam; há poucos trabalhos sobre <b>processos bioquímicos/termoquímicos</b> .	Ampliar abordagens <b>interdisciplinares</b> , com maior presença de engenharias e biotecnologia nos projetos.
<b>Integração com políticas públicas</b>	Menções pontuais a programas como RenovaBio, SAF ou PNA, sem análise crítica da aderência das pesquisas.	Recomenda-se <b>mapear a aderência de cada estudo às políticas públicas nacionais e internacionais</b> .
<b>Abordagem metodológica</b>	Ausência de estudos com <b>design experimental comparativo</b> entre culturas ou tecnologias.	Sugerir ensaios comparativos, testes-piloto e uso de <b>modelos estatísticos robustos</b> (ANOVA, regressão multivariada).
<b>Escopo geográfico</b>	Foco predominante no Tocantins; há poucas análises comparativas com outras regiões.	Promover <b>análises multicêntricas</b> ou estudos comparados com outros estados/biomas de relevância energética.

Fonte: Elaboração própria (2025).

No que se refere às culturas agroenergéticas, destaca-se uma forte concentração de estudos em espécies consolidadas como batata-doce, soja e cana-de-açúcar, com limitada exploração de culturas nativas ou regionais. Essa tendência reforça a observação de Souza e Cortez (2016), que apontam a importância da diversificação das matérias-primas como estratégia para a sustentabilidade energética. Recomenda-se a valorização de espécies adaptadas ao bioma Cerrado, como macaúba, pequi e baru, que apresentam potencial bioenergético e usos múltiplos, além de contribuírem para a conservação ambiental e inclusão socioeconômica (RIZZO, 2021).

Quanto às fontes de biomassa residual, observa-se que poucos trabalhos aprofundam os aspectos técnico-econômicos da utilização de resíduos agroindustriais, como o lodo de esgoto, a cama de frango e os resíduos lignocelulósicos. Conforme Macêdo (2017), o aproveitamento energético de resíduos demanda análises detalhadas de viabilidade técnica e econômica, com base na análise de ciclo de vida (ACV), o que ainda é incipiente nas pesquisas do programa. No campo da geração de biocombustíveis, prevalecem estudos centrados nos combustíveis de primeira geração, em detrimento dos biocombustíveis de segunda e terceira geração. Essa limitação já havia sido apontada por a APROBIO (2016), que defende o avanço para biocombustíveis mais eficientes, como o etanol (2G), o SAF e o hidrogênio verde. Fomentar pesquisas nessas tecnologias emergentes é essencial para alinhar a produção científica às exigências da transição energética global (IEA, 2023).

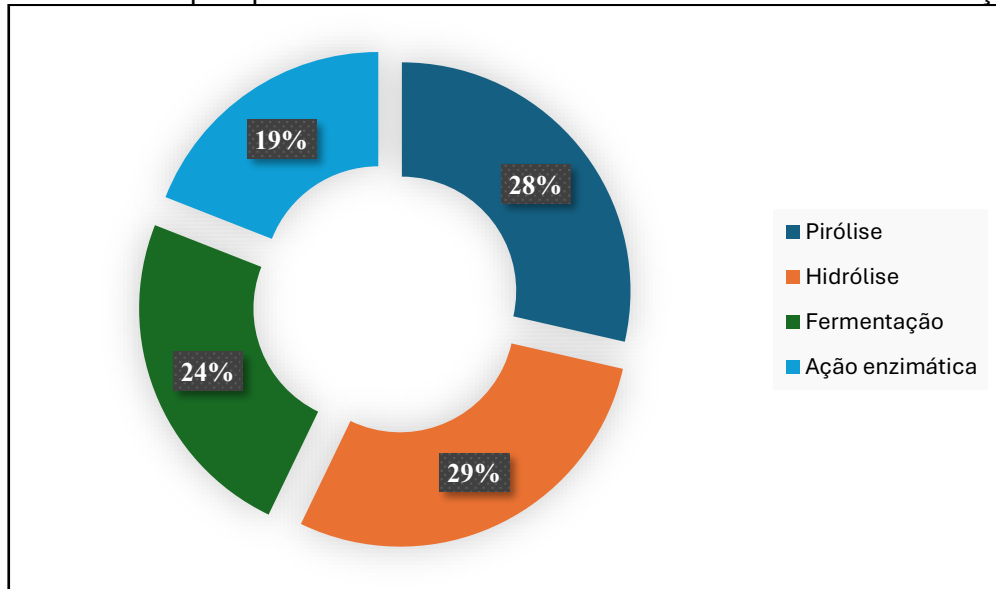
Os aspectos socioeconômicos aparecem de forma limitada nas dissertações, especialmente quanto à geração de renda, impactos sociais e inclusão produtiva no meio rural. Segundo Morais *et al.* (2020), a transição energética só será justa se contemplar a perspectiva social, considerando os efeitos sobre o trabalho, o gênero e a economia solidária. Assim, sugere-se incluir indicadores de impacto social, inovação social e economia circular nas pesquisas futuras.

Sobre as tecnologias de conversão, ainda há predominância de abordagens agrônomicas, com escassa investigação sobre processos bioquímicos e termoquímicos. De acordo com Alexandre (2013) e Almeida (2019), a conversão termoquímica por pirólise e gaseificação, por exemplo, é promissora para resíduos

lignocelulósicos e deve ser explorada com maior profundidade em estudos interdisciplinares que envolvam engenharia química e biotecnologia.

Em relação à integração com políticas públicas, as dissertações analisadas mencionam pontualmente instrumentos como o RenovaBio, Plano Nacional de Agroenergia (MAPA, 2018) e o Programa Combustível do Futuro, sem realizar análises críticas de aderência. Nesse aspecto, Hackenhaar (2014) ressalta que o alinhamento das pesquisas às diretrizes e marcos regulatórios é crucial para que o conhecimento acadêmico impacte efetivamente a formulação e execução de políticas públicas.

Gráfico 6 - Principais processos de conversão citados nos títulos das dissertações



Fonte: Elaboração própria (2025).

O Gráfico 6 ilustra a frequência com que diferentes processos de conversão de biomassa são citados nos títulos das dissertações analisadas. A hidrólise aparece como o processo mais recorrente (29%), refletindo seu papel essencial na quebra de moléculas complexas para produção de biocombustíveis. Em seguida, a fermentação representa 24% das ocorrências, destacando-se pela sua aplicação na conversão de açúcares em etanol. A pirólise, com 28%, demonstra interesse crescente em rotas termoquímicas para obtenção de bio-óleo e biochar. Já a ação enzimática (19%) aponta para avanços no uso de catalisadores biológicos em processos de segunda geração. Esses dados indicam uma diversidade de enfoques tecnológicos no desenvolvimento de soluções energéticas sustentáveis, demonstrando o esforço

acadêmico em explorar alternativas complementares para a conversão eficiente da biomassa.

No tocante à abordagem metodológica, há ausência de delineamentos experimentais robustos e comparações entre diferentes culturas ou tecnologias. Segundo Coelho (2020), o uso de delineamentos estatísticos como ANOVA e testes de regressão multivariada potencializa a confiabilidade dos dados e permite inferências mais abrangentes.

Por fim, quanto ao escopo geográfico, as pesquisas concentram-se majoritariamente no estado do Tocantins, limitando análises comparativas e extrapolações nacionais. Como destaca Toller (2016), a diversidade climática e edafológica do Brasil exige abordagens multicêntricas para a validação de resultados e recomendações técnicas.

A identificação dessas lacunas representa um ponto de partida estratégico para o redirecionamento das futuras linhas de pesquisa do PPGAD/UFT, contribuindo para o aprimoramento do currículo, o fortalecimento da inserção científica e a promoção de soluções sustentáveis para os desafios da agroenergia no Brasil.

### **3.4 Inovações e tecnologias emergentes**

As principais fontes de produção de biocombustíveis no Brasil advêm de cultivos agrícolas, com plantas ricas em óleos, amido e açúcares, resíduos orgânicos, biomassa lignocelulósica e microalgas. Há ainda os resíduos e matérias orgânicas utilizados na produção de energia, consistentes na biomassa, uma matéria-prima abundante, com potencial de geração de energia limpa. Ao contrário das fontes fósseis de energia, como o petróleo e o carvão mineral, a biomassa se torna mais competitiva e sustentável (CHERUBINI, 2010).

Em 2023, houve um crescimento exponencial na geração de energias limpas. Apesar disso, dois terços do aumento na demanda global de energia ainda foram atendidos por fontes fósseis, ocasionando uma emissão recorde de CO<sub>2</sub> (IEA, 2024). Esse cenário reforça a urgência de ampliar o uso de fontes renováveis. Segundo Lima *et al.* (2022), a biomassa é considerada uma das fontes mais versáteis da matriz renovável, pois pode ser convertida em energia térmica, elétrica e combustíveis líquidos com baixa emissão de carbono.

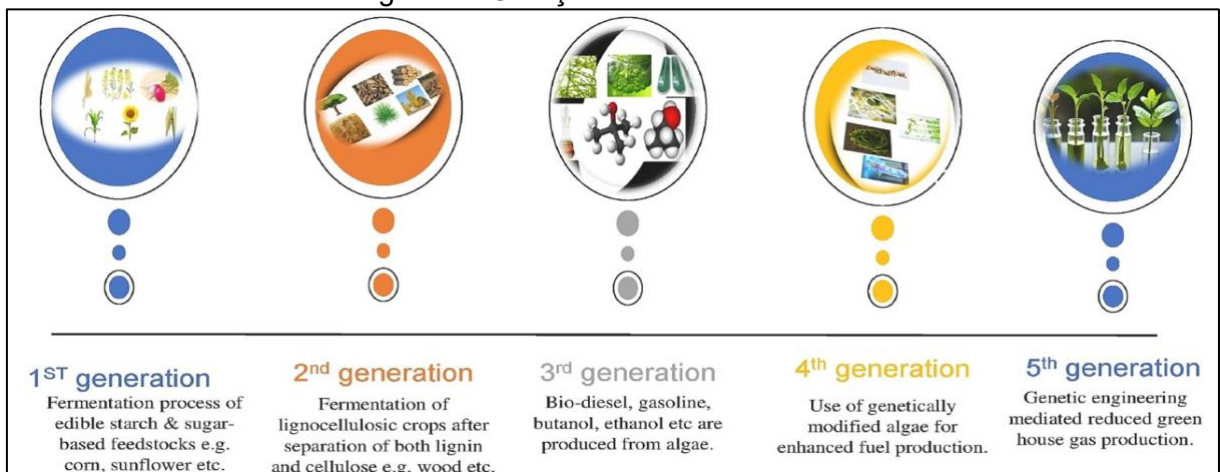
Para que a biomassa se consolide como fonte renovável em escala comercial, é fundamental o investimento em inovações tecnológicas. De acordo com Demirbas (2011), as tecnologias de conversão da biomassa são essenciais para a diversificação energética e redução das emissões de gases de efeito estufa.

### 3.4.1 Tecnologias de processamento e conversão de biomassa

As tecnologias de processamento e conversão de biomassa desempenham papel crucial na transformação de materiais orgânicos em formas de energia utilizáveis, como biocombustíveis, eletricidade e calor. Segundo Bridgwater (2012), a pirólise é uma das rotas mais promissoras para o aproveitamento de resíduos, com possibilidade de produção simultânea de bio-óleo, biochar e gás.

Esses processos se dividem em três categorias: termo conversão (ex: pirólise), bioquímica (ex: fermentação e digestão anaeróbica) e físico-química (ex: transesterificação e hidrólise). Conforme Galbe e Zacchi (2007), o desenvolvimento da hidrólise enzimática para a celulose representa uma das maiores inovações no etanol 2G. Além disso, Soccol *et al.* (2010) ressaltam que a fermentação em estado sólido é eficaz para produção de enzimas celulolíticas a partir de resíduos, sendo essencial para processos de sacarificação e fermentação.

Figura 2 - Geração de Biocombustíveis



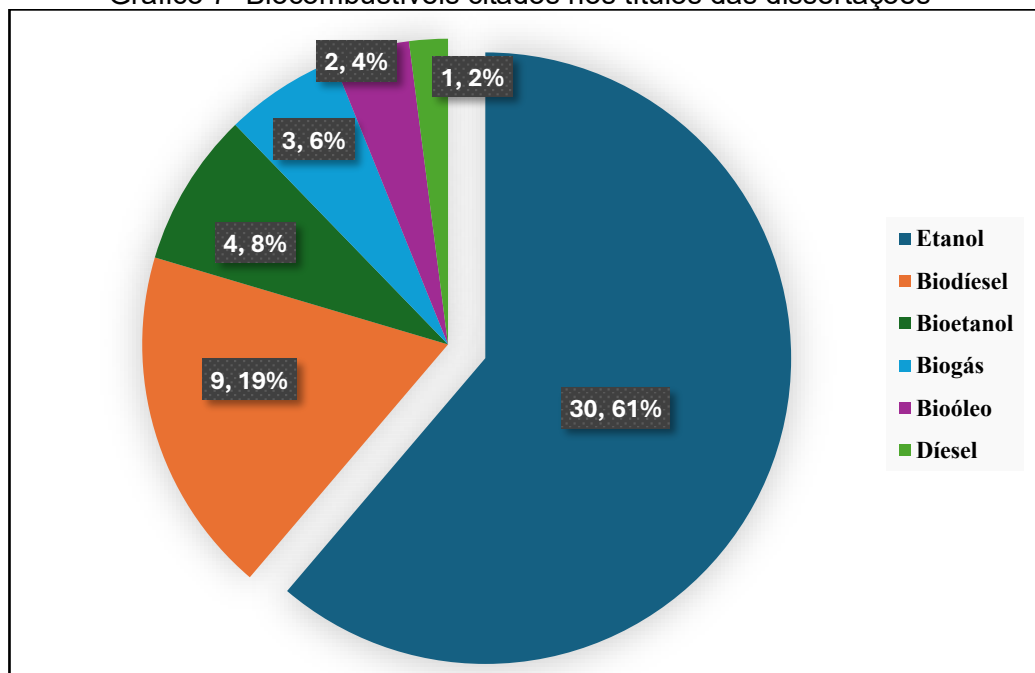
Fonte: RAO, et al (2020)

A Figura 2 apresenta a classificação dos biocombustíveis em cinco gerações tecnológicas. A primeira geração utiliza matérias-primas comestíveis, como milho e

cana-de-açúcar, por meio da fermentação de amidos e açúcares. A segunda geração envolve a fermentação de resíduos lignocelulósicos após a separação da lignina e da celulose, como a biomassa de madeira. A terceira geração baseia-se na produção de biocombustíveis a partir de microalgas, que geram biodiesel, etanol e outros combustíveis avançados. A quarta geração emprega microalgas geneticamente modificadas para aumento do rendimento energético. Já a quinta geração busca o uso de engenharia genética para reduzir a emissão de gases de efeito estufa e produzir combustíveis de forma ainda mais eficiente e sustentável (RAO; MOHAMED; PRASAD, 2020).

Essa classificação evidencia a evolução das tecnologias e reforça a importância do investimento em biocombustíveis de segunda, terceira e quarta gerações, como caminho para a transição energética de baixo carbono.

Gráfico 7- Biocombustíveis citados nos títulos das dissertações



Fonte: Elaboração própria (2025).

O Gráfico 7 apresenta a distribuição percentual dos biocombustíveis mais citados nos títulos das dissertações analisadas no âmbito do PPGAD/UFT. Observa-se que o etanol lidera com ampla margem, sendo mencionado em 61% das produções acadêmicas. Esse dado evidencia o protagonismo dessa fonte energética renovável no contexto das pesquisas, especialmente no que tange à produção a partir de

culturas como batata-doce, sorgo e mandioca, bem como de resíduos lignocelulósicos, com forte ênfase no etanol de primeira e segunda geração.

Em segundo lugar, aparece o biodiesel, com 19% das ocorrências, resultado do interesse em matérias-primas oleaginosas como soja e sebo bovino, além de temas voltados à transesterificação e aproveitamento de resíduos animais. O bioetanol, classificado separadamente do etanol por se referir, na maioria das vezes, ao produto derivado de resíduos ou biomassa de segunda geração, representa 8% das menções.

Outros biocombustíveis citados incluem o biogás (6%), o bio-óleo (4%) e o diesel verde (2%), indicando ainda baixa representatividade nos estudos, apesar do seu potencial tecnológico e ambiental. Esses resultados apontam para a necessidade de diversificação nas linhas de pesquisa, ampliando o foco para biocombustíveis de terceira geração e tecnologias emergentes, conforme apontado por Chisti (2007) e IRENA (2022).

A predominância do etanol confirma sua importância estratégica para a matriz energética nacional, porém destaca-se também a oportunidade de avanço científico e tecnológico nas demais rotas de conversão e tipos de biocombustíveis, especialmente diante dos desafios impostos pela descarbonização global e pelo incentivo à economia circular.

#### 3.4.2 Inovações na produção a partir de resíduos e biomassas alternativas

A valorização energética de resíduos está no centro do conceito de biorrefinaria. Conforme Cherubini (2010), a conversão de resíduos agroindustriais em combustíveis é essencial para a economia circular e sustentabilidade. Diversos resíduos vêm sendo estudados, como lodo de esgoto, sebo bovino, microalgas, pseudocaule de bananeira, ramos e folhas de batata-doce, além de resíduos industriais como os da macaúba.

Chisti (2007) destaca que as microalgas são fontes promissoras de biocombustíveis de terceira geração, pela alta produtividade de lipídios e possibilidade de cultivo em áreas improdutivas. Kirchherr, *et al.* (2017) acrescentam que a economia circular deve ser incorporada à cadeia dos biocombustíveis, promovendo o reaproveitamento dos coprodutos e subprodutos.

#### 3.4.3 Uso sustentável da biomassa residual

A economia circular busca minimizar a geração de resíduos e maximizar o aproveitamento da biomassa. Conforme Kirchherr *et al.* (2017), essa abordagem favorece o desenvolvimento sustentável ao longo da cadeia produtiva. Os estudos analisados indicam a conversão de resíduos em produtos como compósitos, biofertilizantes, biochar e ecocarvão.

O uso de resíduos na formulação de compósitos, como os feitos com palha de cana e resina vegetal, reflete a busca por materiais biodegradáveis e de menor impacto ambiental (FIGUEIREDO, 2020; TAKADA, 2014). O biochar, produzido a partir de resíduos como babaçú, também demonstra grande potencial energético e adsorativo (MORAES JUNIOR, 2022).

Esse conjunto de inovações aponta que, além da viabilidade técnica, os biocombustíveis precisam estar alinhados às exigências de escalabilidade e competitividade. Como apontado pela IRENA (2022), o hidrogênio verde, o bioetanol 2G e os combustíveis avançados terão papel fundamental na transição energética global até 2050.

### **3.5 Impactos socioeconômicos**

#### **3.5.1 Contribuições e limitações**

A importância da agroenergia para a matriz brasileira de combustíveis exige uma definição de objetivos estratégicos nacionais de médio e longo prazos, que levem a um pacto entre a sociedade e o Estado, para que juntos promovam benefícios como a redução do uso de combustíveis fósseis, a ampliação da produção e do consumo de biocombustíveis, a proteção ao meio ambiente, o aproveitamento do mercado internacional e a contribuição para a inclusão social (MAPA, 2006; MAPA, 2024; IPEA, 2024).

Os biocombustíveis geram oportunidades para produtores rurais e indústrias, incentivam a expansão da agricultura sustentável e proporcionam a geração de empregos e fontes de renda, além de impulsionar a pesquisa e a inovação (IPB, 2024; IEA, 2023). O Brasil possui uma indústria de biocombustíveis consolidada, com 360 unidades produtoras de etanol e 59 de biodiesel (IBP, 2023).

De acordo com o relatório Perspectivas Energéticas Mundiais 2024, as fontes de baixas emissões devem gerar mais da metade da eletricidade mundial antes de 2030 (IEA, 2024). Programas como o RenovaBio possibilitam aos produtores de

biocombustíveis a emissão de CBIOS, comercializados com distribuidores de combustíveis fósseis, promovendo a redução das emissões de carbono (MMA, 2020).

Nos últimos 20 anos, as fontes renováveis mantiveram participação acima de 70% na matriz elétrica brasileira, superando os índices globais e refletindo a riqueza dos recursos naturais e a eficácia das políticas públicas (EPE, 2024; IEMA, 2024).

A agroenergia favorece a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e alinha-se aos compromissos globais de sustentabilidade, como os acordos do IPCC (2023) e os ODS da ONU (ONU, 2019; IPEA, 2024).

A expansão da agroenergia no Brasil é frequentemente associada a preocupações quanto à possível competição com a produção de alimentos. No entanto, estratégias sustentáveis vêm sendo discutidas para mitigar essa sobreposição de demandas por terra. A recuperação de áreas agricultáveis e de pastagens degradadas constitui uma das alternativas mais promissoras, permitindo o aumento da produção agroenergética sem comprometer a segurança alimentar. Segundo Bolfe (2024), aproximadamente 28 milhões de hectares de pastagens degradadas no Brasil apresentam potencial para o cultivo de culturas energéticas.

Outro aspecto relevante é a adoção do chamado efeito poupa-terra, que compreende o uso de tecnologias e práticas agrícolas integradas, como o cultivo de milho safrinha em sistemas consorciados e o reaproveitamento de resíduos agrícolas. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2024), tais práticas podem possibilitar a expansão da produção de biocombustíveis em até 80% sem a necessidade de abrir novas áreas de cultivo. Além disso, o aproveitamento de partes não comestíveis de culturas alimentares, como as ramas da batata-doce, representa uma importante vertente dos biocombustíveis de segunda geração (MACÊDO, 2017; MAIRESSE, 2015).

No que tange ao desenvolvimento rural, destaca-se que a agroenergia brasileira possui elevado potencial de inclusão socioeconômica. A agricultura familiar, por exemplo, representa cerca de 78% dos estabelecimentos agropecuários no país e emprega aproximadamente 10 milhões de pessoas (IBGE, 2017). A inserção de pequenos produtores em cadeias produtivas de biocombustíveis, especialmente por meio de programas de certificação de carbono, contribui para o aumento da renda e da valorização de práticas agrícolas sustentáveis (BOLFE, 2024; EMBRAPA, 2024).

Com relação à produção de etanol e biodiesel, observa-se que a diversificação das matérias-primas utilizadas e os avanços tecnológicos têm sido determinantes para

o fortalecimento do setor. O Programa Nacional do Álcool (Proálcool), instituído em 1975, configurou-se como um marco da política energética brasileira (ANFAVEA, 2024). Atualmente, biocombustíveis como o etanol e o biodiesel podem ser obtidos a partir de matérias-primas diversas, incluindo cana-de-açúcar, milho, soja e até resíduos de origem animal, conforme demonstrado em estudos de Santana (2013), Marcolini (2018) e Hackenhaar (2014).

Contudo, persistem desafios relacionados à instabilidade de preços das commodities, à sazonalidade produtiva e às questões ambientais que envolvem o uso intensivo de recursos naturais. Nesse sentido, torna-se imprescindível consolidar rotas tecnológicas mais eficientes e políticas públicas integradas, que garantam a competitividade e a sustentabilidade do setor no longo prazo.

A sustentabilidade da agroenergia, por sua vez, ultrapassa a mera produção de energia. A utilização de ferramentas analíticas como a emerggia, conforme proposto por Odum (1996), permite a avaliação dos fluxos energéticos e dos impactos ambientais associados à geração de biocombustíveis. Bonamigo (2014), ao aplicar essa metodologia às culturas de babaçú e macaúba, evidenciou a importância da equidade e da eficiência energética como critérios fundamentais para a sustentabilidade de sistemas agroenergéticos.

Além disso, diversas pesquisas têm demonstrado a viabilidade técnica e econômica da utilização de resíduos agroindustriais e urbanos na geração de energia. Destacam-se o uso de sebo bovino (SILVA, 2016; SOUSA, 2020), resíduos de frigoríficos para a produção de biogás (SILVA, 2017; SANTOS, 2019), briquetes de poda urbana (BERNARDO, 2022), biomassa de macaúba (NUNES, 2015) e a fermentação da batata-doce para obtenção de álcool combustível (SILVA, 2015; RIBEIRO, 2016; LIMA, 2018; LIMA, 2020).

Nesse contexto, organizações internacionais como a Agência Internacional de Energia (IEA, 2024) e a Agência Internacional para Energias Renováveis (IRENA, 2022) reforçam a importância da inovação tecnológica e do uso inteligente de recursos para a consolidação de uma nova economia energética. Alinhado a essa perspectiva, o Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital (PPGAD-UFT, 2025) evidencia a necessidade de aprofundar o uso de tecnologias digitais, da integração de dados e da valorização regional como fundamentos para uma bioenergia tecnicamente viável, socialmente justa, ambientalmente equilibrada e economicamente rentável.

Figura 3 - Principais termos encontrados nas dissertações analisadas do PPGAD/UFT



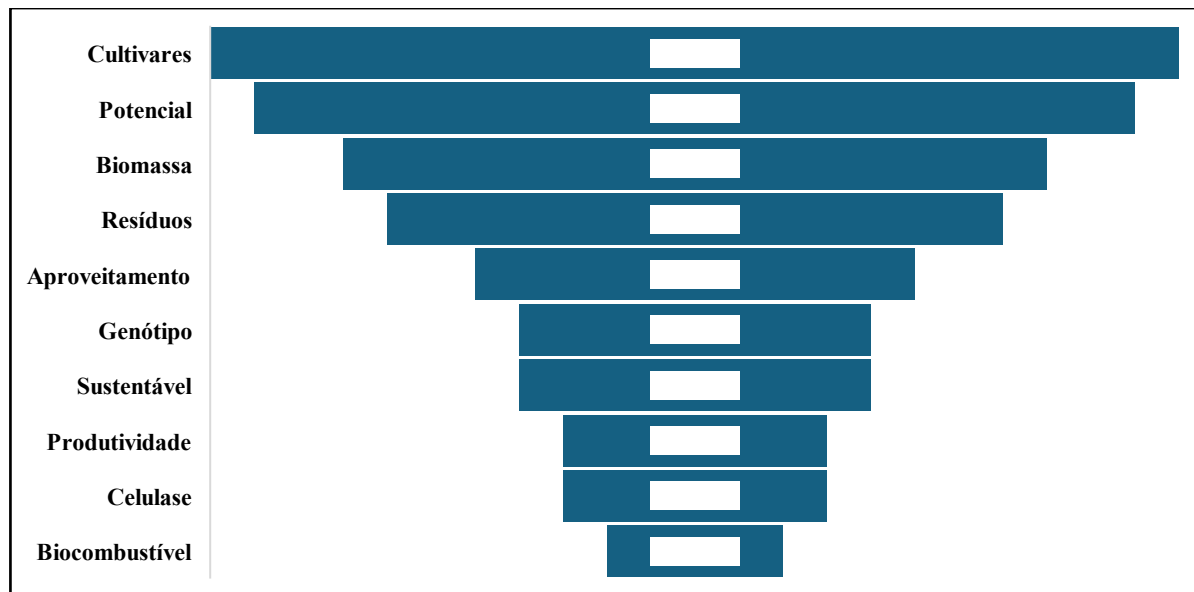
Fonte: Elaboração própria (2025).

A Figura 3 apresenta uma nuvem de palavras gerada a partir da análise dos principais termos recorrentes nas dissertações produzidas no âmbito do PPGAD/UFT. Observa-se que os termos "produção", "etanol", "energia", "resíduo", "culturas" e "biocombustíveis" aparecem com maior destaque, refletindo a centralidade desses temas nas pesquisas desenvolvidas. Isso evidencia o forte direcionamento das investigações para a conversão de biomassa em combustíveis renováveis e o aproveitamento de resíduos agrícolas, alinhando-se às diretrizes da sustentabilidade e da inovação tecnológica.

Outros termos como "sorgo", "sacarino", "biodiesel", "batata-doce", "pirólise", "bioquerosene" e "macaúba" indicam a diversidade de matérias-primas e rotas tecnológicas exploradas no programa. A presença de expressões como "genótipos", "eficiência", "potencial" e "viabilidade" revela o enfoque técnico-científico voltado à otimização de processos, adaptação regional e avaliação agrônômica das culturas estudadas.

Portanto, a nuvem de palavras sintetiza visualmente as principais tendências e áreas de interesse das dissertações do PPGAD/UFT, contribuindo para a compreensão da evolução das pesquisas e sua aderência às demandas contemporâneas da matriz energética brasileira.

Gráfico 8 - Palavras recorrentes nos títulos das dissertações analisadas



Fonte: Elaboração própria (2025)

No Gráfico 8, complementa essa análise ao apresentar a frequência de palavras nos títulos das 78 dissertações selecionadas como corpus desta pesquisa revela um forte alinhamento com os objetivos do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Desenvolvimento (PPGAD), bem como com os princípios da Agenda de Desenvolvimento Sustentável. Essa análise fornece uma base empírica que justifica a escolha dessas dissertações, ao evidenciar, por meio dos títulos, a conexão direta com temas como culturas agroenergéticas, biomassas alternativas e produção de bioenergia.

Ressalta-se que a palavra mais recorrente nos títulos é “Cultivares”, mencionada 11 (onze) vezes. Isso indica uma forte presença de estudos voltados ao melhoramento genético e à caracterização de variedades vegetais com potencial agroenergético, como a batata-doce, o sorgo e a soja. Em seguida, os termos “Potencial” (10 ocorrências) e “Biomassa” (8 ocorrências) reforçam o foco das pesquisas no aproveitamento energético de diferentes matérias-primas, evidenciando o interesse técnico-científico em avaliar e explorar novas fontes de energia renovável.

Outras palavras de destaque são “Resíduos” (7 ocorrências) e “Aproveitamento” (5 ocorrências), que apontam para uma perspectiva sustentável nas pesquisas, com ênfase na valorização de subprodutos e coprodutos agroindustriais. Esse aspecto se alinha diretamente à busca por soluções que conciliem produtividade com responsabilidade ambiental.

Termos como “Genótipo” e “Sustentável” (ambos com 4 menções), bem como “Produtividade” (3 menções), destacam a preocupação com a viabilidade agrônômica e a sustentabilidade das alternativas energéticas estudadas. Já o termo “Celulase” (3 menções) indica a realização de pesquisas específicas sobre enzimas aplicadas à produção de biocombustíveis de segunda geração, o que revela um aprofundamento técnico em biotecnologias voltadas à energia renovável.

Embora o termo “Biocombustível” apareça com menor frequência (2 vezes), ele pode ser considerado um eixo temático transversal em todo o conjunto de dissertações, sendo subentendido nos estudos que priorizam aspectos agrônômicos e tecnológicos das matérias-primas voltadas à produção energética.

A análise quantitativa complementou o estudo com a organização de dados, conforme Tabela 1, apresentando a distribuição das dissertações por tipo de biomassa, frequência de cultivares, geração de biocombustível (1G, 2G e 3G) e ano da defesa, possibilitando uma visão cronológica e temática da evolução do conhecimento produzido pelo programa.

Tabela 4 - Títulos, autores e ano da defesa das dissertações analisadas

	<b>TÍTULO</b>	<b>AUTOR</b>	<b>ANO</b>
1	Produtividade e absorção de nutrientes de três cultivares de batata-doce [ <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam] selecionadas para a produção de etanol	GONÇALVES, Rogério Cavalcante	2012
2	Avaliação de Características Agrônômicas e Físico Químicas de Cultivares de Sorgo Sacarino ( <i>Sorghum Bicolor</i> (L.) Moench) para Produção de Etanol na Região Central do Tocantins	GIACOMINI, Ivanor	2012
3	Métodos estatísticos de análise da adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja na região centro sul do estado do Tocantins, visando a produção de biodiesel	MONTEIRO, Fábio Josias Farias	2012
4	Utilização do resíduo de etanol de batata-doce ( <i>Ipomoea batatas</i> (Lam.)) como fonte de adubação orgânica em <i>Brachiaria brizantha</i>	MARSON, Karina Amadeu	2012
5	Fermentação etanólica conjunta da batata-doce ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam), Mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> ) e Milho ( <i>Zea mays</i> )	SILVA, Fernanda Aparecida Lima	2013
6	Estudo do processo de pirólise para o aproveitamento sustentável de lodo digerido doméstico	CORREIA, Lígia Araújo Ramos	2013
7	Obtenção de bio-óleo combustível a partir da pirólise termocatalítica de lodo de esgoto doméstico	ALEXANDRE, Gerso Pereira	2013
8	Estudo do uso sustentável do Babaçú ( <i>Orbignya speciosa</i> ) para produção de biodiesel e implementação do mecanismo REDD+ no estado do Tocantins	SERRANO FILHO, Reginaldo Paiva Silva	2013

	<b>TÍTULO</b>	<b>AUTOR</b>	<b>ANO</b>
9	Biomassa de microalgas de uma lagoa de estabilização Facultativa: caracterização e uso para a obtenção de biocombustível	CARDOSO, Aderlânio da Silva	2013
10	Obtenção de genótipos de batata-doce ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.) por cruzamentos biparentais visando a produção de etanol	SANTANA, Wesley Rosa de	2013
11	Determinação do conteúdo fenólico, flavonoides e atividade antioxidante nas folhas de dez cultivares de <i>Ipomoea batatas</i> (L.) lam. desenvolvidas para produção industrial de etanol	SOARES, Ilsamar Mendes	2013
12	Hidrólise ácida da farinha da casca de pequi ( <i>Caryocar brasiliense</i> ) visando à produção de bioetanol	SILVA, Diana Lopes da	2013
13	Influência do tempo de extração e da razão amostra: solvente no processo de extração do óleo do caroço do pequi visando a produção de biodiesel	OSTER, Vanessa Viebrantz	2013
14	Análise emergética do babaçú e da macaúba quando destinados à produção de biodiesel	BONAMIGO, Flávio Rafael	2014
15	Obtenção de materiais compósitos a partir de resíduo agroenergético: caso do aproveitamento da palha da cana-de-açúcar	TAKADA, Camila Rosa da Silva	2014
16	Variabilidade genética em cultivares de soja e eficiência do potássio sobre os teores de óleo e proteína visando à produção de biocombustível	HACKENHAAR, Neusa Maria	2014
17	Efeito de ambientes e densidades de semeadura em soja, visando à produção de biodiesel	ALMEIDA, Bernardo Coutinho	2014
18	Produção de celulases através da fermentação em estado sólido utilizando como substrato sorgo lignocelulósico	SANTIN, Franciane Maria Mantovani	2014
19	Avaliação agrotecnológica de variedades de cana-de-açúcar para produção de etanol, na região Central do Estado do Tocantins	FLORES JUNIOR, Milton Maciel	2014
20	Composição e caracterização química da fração sacarídica do coproduto da biofermentação etanólica da batata-doce ( <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam)	ALVIM, Jonas Chaves	2014
21	Obtenção de materiais compósitos a partir de resíduo agroenergético: caso do aproveitamento da palha da cana-de-açúcar	TAKADA, Camila Rosa da Silva	2014
22	Estudo do processo de pirólise termocatalítica como alternativa ao aproveitamento de lodo de esgoto doméstico	TEIXEIRA, Luana Fagundes	2014
23	Diesel de cana-de-açúcar: uma nova proposta energética	ANDRADE, Aécio Alves	2015
24	Caracterização química, potencial de uso e aspectos poluentes de três cultivares de batata-doce antes e após a fermentação etílica	SILVA, Wallace Aniszewski Távora e	2015
25	Potencial da biomassa aérea da <i>ipomoea batatas</i> (L.) lam. e <i>pennicetum purpureum schumach cv. napier</i> e <i>cv. roxo</i> sob ação de três complexos enzimáticos hidrolíticos na produção de etanol 2g	MAIRESSE, Marta Heloísa	2015
26	Análise de patentes de tecnologias relacionadas a produção de bioetanol de batata-doce	GOUVÊA, Giani Raquel dos Santos Resplandes	2015

	<b>TÍTULO</b>	<b>AUTOR</b>	<b>ANO</b>
27	Avaliação agrônômica, tecnológica e laboratorial de cultivares de palma de óleo irrigada em Porto Nacional-TO	BORGES, Adriana de Jesus	2015
28	Divergência genética e eficiência no uso do nitrogênio por genótipos de milho visando a produção de óleo e proteína	SANTOS, Layanni Ferreira Sodre	2015
29	Eficiência do método de sacarificação simultânea à fermentação (SSF) na produção de etanol e co-produto de raízes de genótipos de batata-doce	FRANÇA, Raquel Gonçalves	2015
30	Estudo da macaúba ( <i>Acrocomia aculeata</i> ) como fonte de energia sustentável e obtenção de insumo para o setor farmacêutico	NUNES, Abimael Pereira	2015
31	Avaliação agrônômica e estabilidade de genótipos de batata-doce selecionados para a produção de etanol	MORAIS, Hider Cordeiro de	2015
32	Utilização de líquidos iônicos no pré tratamento de biomassas lignocelulósicas para obtenção de etanol de segunda geração	SANTOS, Geraldo Aurélio Alves	2015
33	Avaliação de cultivares de batata-doce quanto a produtividade, composição e aproveitamento das ramas visando a produção de etanol	COSTA, Douglas Martins da	2015
34	Efeito do <i>azospirillum brasilense</i> e nitrogênio no teor e no rendimento de óleo nos grãos de milho, em cultivo de entressafra, visando a produção de biodiesel	DIAS, Vanderlan Carneiro	2016
35	Otimização do pré-tratamento das ramas de batata-doce ( <i>Ipomoea batatas lam. (l)</i> ) utilizando ácido sulfúrico diluído	BARBOSA, Robson dos Santos	2016
36	Sebo bovino frigoríficos do município de Araguaína – TO: matriz de insumo-produto e produção de biodiesel	SILVA, Klaydianne Marçal Batista Rodrigues da	2016
37	Estimativa da produção potencial de etanol da braquiária híbrida Convert HD364 submetida a doses crescentes de adubação nitrogenada	SANTOS, Walysson Bernardo Rodrigues	2016
38	Avaliação Técnica e Econômica do uso do Vapor em Usina de cana-de-açúcar para produção de suas principais utilidades.	XAVIER FILHO, Barsanulfo Jacinto	2016
39	Estimativa da produção potencial de etanol de diferentes espécies de Braquiárias	BATITSTA, Itana Neiva	2016
40	Adubação potássica e época de semeadura da soja para a produção de etanol: eficiência e comportamento de cultivares	TOLLER, Márcio	2016
41	Aproveitamento do lodo de esgoto digerido para geração de energia elétrica	RÊGO, Fernanda Silva	2016
42	Determinação Simultânea de Fitoesteróis e Compostos Fenólicos em Folhas de <i>Ipomoea Batatas (L.) Lam.</i> Cultivadas para Produção Industrial de Etanol	RIBEIRO, Maria de Fátima	2016
43	Aproveitamento de biomassa residual lignocelulolítica da indústria de abate de bovinos para obtenção de bioetanol	SIQUEIRA, Lara Neiva de	2016
44	Produção de etanol a partir da fração amilácea de <i>Oryza sativa</i> por hidrólise enzimática	MORAES, Diego Bárbara de	2016
45	Avaliação da produtividade de duas cultivares de batata-doce visando rendimento de etanol nas condições do Tocantins	SILVA, Amanda Souza e	2017

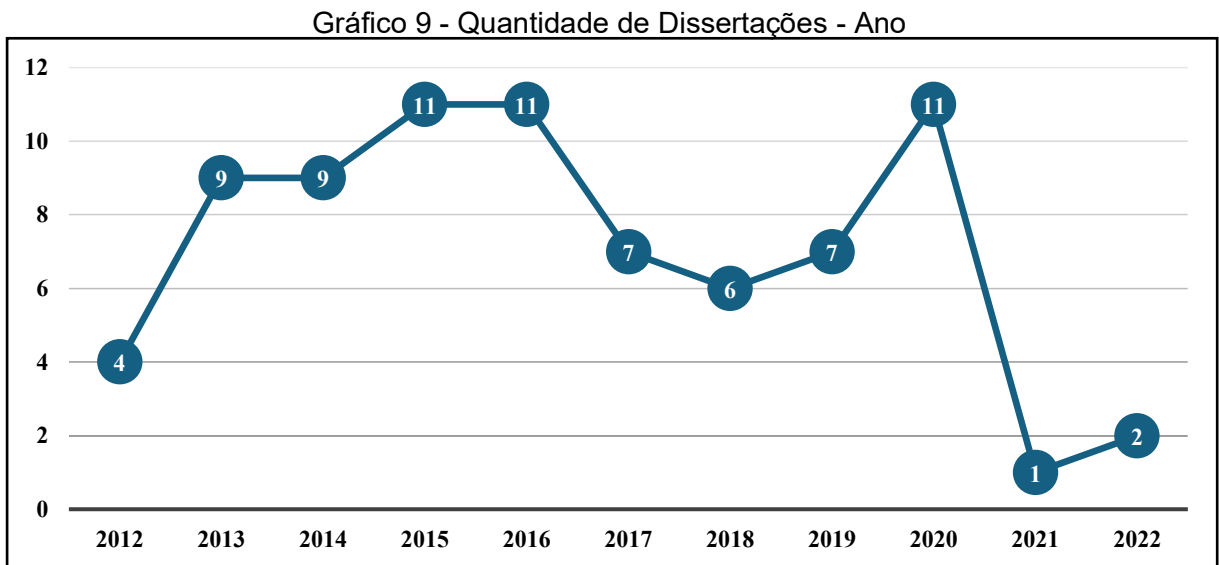
	<b>TÍTULO</b>	<b>AUTOR</b>	<b>ANO</b>
46	Obtenção de ecocarvão de pirólise do lodo de esgoto para adsorção de poluentes em meio aquoso	MADEIRA, Carla Suély Pereira	2017
47	Teores de proteína e óleo em grãos de soja com inoculação mista <i>azospirillum</i> e <i>bradyrhizobium</i> em região de baixa latitude	DOURADO, Daisy Parente	2017
48	Otimização da hidrólise enzimática das ramas de batata-doce ( <i>Ipomoea batatas (L.) lam</i> ). para obtenção de etanol de segunda geração	MACÊDO, Deny Alves	2017
49	Viabilidade técnica e econômica de um sistema de energia elétrica utilizando biogás obtido de resíduos úmidos de frigorífico de bovinos	SILVA, Mírian das Mercês Pereira da	2017
50	Estudo do processo de pirólise termoquímica para produção de bio-óleo a partir do lodo de esgoto	SOUSA, José Fernandes de	2017
51	Viabilidade econômica para produção de energia elétrica por biodigestores utilizando resíduos pecuários	MORAES, Melissa Barbosa Fonseca	2017
52	Inoculação de <i>azospirillum brasiliense</i> e doses de nitrogênio, visando produção de etanol e teor de proteína nos grãos, em milho cultivado na entressafra sob baixa latitude	MARCOLINI, Bruna de Pádua	2018
53	Utilização do soro de queijo na potencialização da produção de etanol a partir de três cultivares de arroz	NOGUEIRA, William Almeida	2018
54	Respostas fisiológicas e agrônomicas da cultura de batata-doce desenvolvida para produção de etanol em função da aplicação de herbicidas	LIMA, Dawyson de	2018
55	Reutilização de líquidos iônicos no pré tratamento de biomassa <i>Pennisetum purpureum</i> (capim elefante)	LUZ, Raiana Batista da	2018
56	Características agrônomicas e potencial bioenergético das cultivares de sorgo sacarino e biomassa sob baixa latitude	SOUZA, Hélio de	2018
57	A eficiência da hidrólise do amido de mandioca ( <i>manihot esculenta crantz</i> ), em diferentes tempos de ações enzimáticas, visando a produção de etanol	VÍTOR, Layane Araújo Dias	2018
58	Etanótipos database: culturas agroenergéticas utilizadas para a produção de etanol	SILVA, Aldriene Divina Costa da	2019
59	Có-digestão anaeróbia com manipueira e esterco bovino visando a produção de biogás e biofertilizante	SANTOS, Elisângela Fernandes dos.	2019
60	avaliação do rendimento de etanol de batata-doce produzida com diferentes fontes e doses de potássio	BORGES, Tatykelly Alves	2019
61	Processos termocatalíticos aplicados ao aproveitamento sustentável dos resíduos agroindustriais da palha da cana-de-açúcar para produção de energia alternativa	FALEIRO, Jordana Kran	2019
62	Avaliação do potencial de etanol segunda geração a partir de lodo proveniente de indústria de MDF utilizando diferentes pré-tratamentos	FLEXA, Tássia Alves Fernandes	2019
63	Estudo do balanço energético do processo de pirólise de lodo de esgoto em escala laboratorial	ALMEIDA, Willian Mateus de Sousa	2019
64	Utilização do Soro de Queijo na Potencialização da Produção de Etanol a Partir de Três Cultivares de Arroz	NOGUEIRA, William Almeida	2019
65	Eficiência do peróxido de hidrogênio no pré-tratamento do resíduo industrial da macaúba ( <i>Acrocomia aculeata</i> ) para produção de etanol 2G	WANDERLEY, Romualdo Julio Cavalcante	2020

	TÍTULO	AUTOR	ANO
66	Obtenção e caracterização de compósitos biodegradáveis a partir de resíduos agroenergéticos	FIGUEIREDO, Héliida Cristina Noronha	2020
67	Efeito de populações de plantas de soja cultivada sob baixa latitude visando a produção de óleo e proteína	CARVALHO, Fredson Leal de Castro	2020
68	Diferentes concentrações de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> no pré tratamento de biomassas na produção de etanol 2G	SOUSA, Illys Janes Alves de	2020
69	Seletividade de herbicidas pré-emergentes em cultivares de batata-doce ( <i>ipomoea batatas (l.) lam.</i> ), desenvolvidas para produção de etanol.	LIMA, Ronaldo Pereira	2020
70	Análise da importância do sebo bovino para produção de biodiesel utilizando a análise pestal e swot com a escala likert	SOUSA, Sidney Soares de	2020
71	Utilização da cama de frango de aviários para geração de energia elétrica através do biogás	SARRI JUNIOR, João Carlos	2020
72	Uso de geotecnologia na análise da dinâmica da eucaliptocultura para produção de carvão vegetal na região do Bico do Papagaio no estado do Tocantins	LUSTOSA, Flávia Oliveira dos Santos	2020
73	Produção de biodiesel no Brasil: vantagens e desvantagens do óleo de soja e sebo bovino	CAVALCANTE, Kiara Souza dos Reis	2020
74	Avaliação de um material compósito polimérico bioinspirado reforçado com fibra de bagaço de cana-de-açúcar	LOPES, Shara Carvalho	2020
75	Potencial de produção de etanol em sorgo sacarino ( <i>sorghum bicolor (L.) moench</i> )	COELHO, Janerson Castro	2020
76	Avaliação do rendimento de hidrólise do pseudocaulo da bananeira utilizando <i>penicillium oxalicum</i>	SOUSA, Rosinete Nogueira de	2021
77	Análise do potencial energético dos resíduos de biomassa proveniente da manutenção da rede de energia da concessionária energisa Tocantins	BERNARDO, Astrogildo Pires – oiti, neen e manga	2022
78	Caracterização físico-químico e termográfica do biochar de partes do coco de babaçú ( <i>Orbygnia Phalerata</i> ) e avaliação do potencial aplicação em atividades agrícolas	MORAES JÚNIOR, Agemiro de Sousa - babaçú	2022

Fonte: Elabora própria (2025).

Conforme apresentado na Tabela 4, a sistematização das produções acadêmicas desenvolvidas no âmbito do Mestrado Profissional em Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins (UFT), entre os anos de 2012 e 2022, revela a trajetória da pesquisa científica voltada ao desenvolvimento de fontes renováveis de energia, com ênfase nas culturas agroenergéticas. Esta análise é fundamental para compreender a evolução do conhecimento técnico-científico sobre matérias-primas vegetais, processos de conversão energética e inovações tecnológicas aplicadas à produção de etanol e biodiesel, pilares estruturantes da matriz energética sustentável brasileira.

Complementando a análise, o Gráfico 3 apresenta a distribuição anual das dissertações defendidas entre 2012 e 2022, revelando uma tendência de crescimento até 2016, com picos em 2015, 2016 e 2020, seguidos de uma queda em 2021, reflexo da pandemia da COVID-19. A retomada em 2022 sinaliza uma recuperação da produção acadêmica, agora influenciada pela digitalização e pelas tecnologias emergentes na área de agroenergia.



Fonte: Elabora própria (2025).

O Gráfico 9, acima apresenta a distribuição anual das dissertações defendidas entre 2012 e 2022, revelando uma tendência de crescimento até 2016, com picos em 2015, 2016 e 2020. Observa-se uma queda expressiva em 2018, que pode estar associada a fatores políticos e econômicos nacionais que impactaram o financiamento e a estabilidade das políticas públicas voltadas à ciência e tecnologia. Em 2021, o número de defesas chegou ao ponto mais baixo (1 dissertação), reflexo direto da pandemia da COVID-19 e de seus efeitos sobre os programas de pós-graduação, incluindo interrupção de atividades de campo e adiamento de pesquisas.

Apesar da queda abrupta em 2021, há um indício de recuperação em 2022, com 2 dissertações, o que sugere uma retomada gradual da produção acadêmica na área. Vale destacar que a retomada pós-pandemia tende a vir acompanhada de novas abordagens integradas à transformação digital, como o uso de sensores, IoT e modelagem preditiva em cadeias de produção de biocombustíveis, um cenário promissor para a Agroenergia Digital.

Assim, os dados refletem não apenas o comportamento da pesquisa científica ao longo da década, mas também apontam tendências futuras e possíveis áreas estratégicas de investimento e inovação.

A organização dessa base de dados evidencia o protagonismo de culturas como batata-doce (*Ipomoea batatas* L.), sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L.), milho (*Zea mays* L.), mandioca (*Manihot esculenta*), soja (*Glycine max*) e babaçú (*Orbignya speciosa*), entre outras, no cenário da bioenergia, conforme ressaltado por Souza e Cortez (2016), que destacam o potencial dessas biomassas tanto na produção de combustíveis quanto na geração de coprodutos com valor agregado. A diversidade de temáticas abordadas, que vai desde a análise genética de cultivares até a viabilidade técnico-econômica de processos industriais e o reaproveitamento de resíduos, reforça a contribuição estratégica dessas pesquisas para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 7 (energia acessível e limpa) e o ODS 13 (ação contra a mudança global do clima), conforme preconiza a Organização das Nações Unidas (ONU, 2015).

Ao reunir e analisar esse conjunto de dissertações, é possível constatar a aderência do Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital (PPGAD) às demandas contemporâneas por sustentabilidade e inovação, conforme orienta a CAPES (2019), ao enfatizar a formação de mestres aptos a aplicar conhecimentos científicos e tecnológicos na resolução de problemas complexos da sociedade. A multiplicidade de autores, metodologias e abordagens evidencia o caráter interdisciplinar da área de Agroenergia, alinhado à concepção de Altieri (2012), para quem a integração entre agronomia, biotecnologia, engenharia de processos e ciências ambientais é fundamental à consolidação de sistemas energéticos resilientes e sustentáveis.

Portanto, o levantamento e a categorização das produções acadêmicas relacionadas à agroenergia não apenas contribuem para a estruturação histórica e científica deste campo no Tocantins, como também fundamentam a construção de uma matriz analítica sólida para esta dissertação. Tal abordagem permite, especialmente, a identificação de lacunas, tendências e potencialidades para futuras pesquisas sobre etanol de segunda geração, valorização de resíduos agroindustriais e desenvolvimento da bioeconomia regional.

Do ponto de vista qualitativo, foram identificados padrões e temas recorrentes nas dissertações analisadas, tais como metodologias de conversão de biomassas,

estratégias de aproveitamento energético de cultivares específicas e tendências tecnológicas emergentes voltadas à produção de bioenergia. Essas recorrências apontam para um esforço sistemático de investigação científica voltado à inovação e à sustentabilidade no setor agroenergético.

Os dados analisados neste estudo evidenciam a relevância científica e estratégica do Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital da UFT na consolidação de uma matriz energética mais sustentável e inovadora no Brasil. A frequência de termos como “cultivares”, “biomassa”, “etanol” e “resíduos” nos títulos das dissertações, bem como a diversidade de culturas e tecnologias investigadas, refletem o compromisso do programa com o avanço técnico-científico e a valorização dos recursos regionais.

Ressalta-se a trajetória das produções acadêmicas entre 2012 e 2022 revela não apenas a evolução do conhecimento, mas também sua sensibilidade aos contextos político, econômico e sanitário, como demonstrado pelas oscilações nas defesas. Esses resultados sustentam a importância do PPGAD como espaço de formação interdisciplinar e produção de soluções aplicadas aos desafios da transição energética, constituindo base sólida para as reflexões finais deste trabalho.

## 4 CONCLUSÕES

A presente pesquisa atingiu plenamente seus objetivos ao realizar uma análise crítica, sistemática e inédita das dissertações produzidas no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital da Universidade Federal do Tocantins (PPGAD/UFT), no período de 2012 a 2022. Ao selecionar e examinar 78 dissertações que tratam de culturas agroenergéticas, biomassas alternativas e tecnologias de conversão energética voltadas à produção de biocombustíveis, o estudo mapeou de forma robusta as principais temáticas, tendências metodológicas e lacunas existentes na produção científica do programa.

Foram identificadas recorrências importantes, como o protagonismo de culturas tradicionais (batata-doce, cana-de-açúcar e soja) e o foco predominante em biocombustíveis de primeira geração. Em contrapartida, temas emergentes como os biocombustíveis de segunda e terceira geração, a análise de impactos socioeconômicos e a articulação com marcos regulatórios, como o RenovaBio, o Programa Combustível do Futuro e o Plano Nacional de Agroenergia, ainda são incipientes, apontando para importantes oportunidades de aprofundamento.

Essa análise contribui significativamente para a valorização do acervo técnico-científico produzido pelo PPGAD/UFT, fortalecendo seu papel como polo emergente de pesquisa em energia renovável na região Norte do Brasil. O estudo também oferece subsídios valiosos para o planejamento estratégico do programa, podendo orientar decisões sobre linhas temáticas prioritárias, financiamento de projetos e aprimoramento das práticas pedagógicas e científicas.

Além disso, ao articular as descobertas com o contexto nacional e internacional da transição energética, marcado pelo crescimento populacional, a intensificação da demanda energética e os compromissos climáticos, o trabalho posiciona o PPGAD/UFT como agente ativo na construção de soluções sustentáveis alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e às metas brasileiras de descarbonização da matriz energética.

Como desdobramento desta análise, recomenda-se que futuras pesquisas ampliem o enfoque interdisciplinar, incorporando abordagens integradas de sustentabilidade que considerem aspectos ambientais, econômicos e sociais. Estudos voltados à viabilidade econômica de novas rotas tecnológicas, à mensuração de impactos sociais e à análise de ciclo de vida de biocombustíveis devem ser

incentivados. Da mesma forma, é desejável uma maior articulação entre a produção acadêmica e os marcos regulatórios, garantindo que o conhecimento gerado contribua efetivamente para o aprimoramento das políticas públicas e para a inovação tecnológica no setor.

A pesquisa aponta ainda para a necessidade de ampliar o estudo sobre culturas não convencionais e biomassas residuais, como a macaúba, o sorgo, o pinhão-manso e os resíduos agroindustriais, com foco em biocombustíveis de segunda e terceira geração, incluindo alternativas como o bioquerosene de aviação (SAF) e o hidrogênio verde.

Por fim, fortalecer a base científica da agroenergia é fortalecer também a possibilidade de um desenvolvimento regional sustentável, baseado na inovação, na inclusão produtiva e no uso eficiente dos recursos naturais. Nesse sentido, o PPGAD/UFT reafirma seu papel estratégico como catalisador do conhecimento necessário para a consolidação de uma bioeconomia de baixo carbono no Brasil.

## REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, G. P. (2013). **Obtenção de bio-óleo combustível a partir da pirólise termocatalítica de lodo de esgoto doméstico**.2013.122f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2013.
- ALMEIDA, B. C. (2014). **Efeito de ambientes e densidades de semeadura em soja, visando à produção de biodiesel**.2014.56f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2014.
- ALMEIDA, W. M. de S. (2019). **Estudo do balanço energético do processo de pirólise de lodo de esgoto em escala laboratorial**. 2019. 86f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2019.
- ALVIM, J. C. (2014). **Composição e caracterização química da fração sacarídica do coproduto da biofermentação etanólica da batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam)**.2014.89f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2014.
- ANDRADE, A. A. (2015). **Diesel de cana-de-açúcar: uma nova proposta energética**.2015.104f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2015
- ANFAVEA (2024). Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **O que foi o proálcool?** Disponível em: <https://anfavea.com.br/site/o-que-foi-o-proalcool/> acesso em 02 dez 2024.
- ANP (2024). Agência Nacional do Petróleo e Gás Natural e Biocombustíveis. **A inserção do Biogás/Biometano na matriz energética brasileira**. AUDIÊNCIA PÚBLICA. Comissão Especial para Estudo das Iniciativas para a Transição Energética. Rodolfo Saboia, Diretor-Geral. Fevereiro, 2024b
- \_\_\_\_\_ (2024). **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2024**. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-brasileiro-do-petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis-2024>
- APROBIO (2024). Associação dos Produtores de Biocombustíveis do Brasil. **As 4 gerações de biocombustíveis**. 08 nov 2016. Disponível em: <https://aprobio.com.br/noticia/as-4-geracoes-de-biocombustiveis> acesso em 01 dez 2024.
- \_\_\_\_\_ (2024). Associação dos Produtores de Biocombustíveis do Brasil. **Biocombustível Brasileiro faz 100 anos**. 26 jan 2024. Disponível em: <https://aprobio.com.br/noticia/pbiocombustiacutevel-brasileiro-faz-100->



CARDOSO, A. da S. (2013). **Biomassa de microalgas de uma lagoa de estabilização Facultativa: caracterização e uso para a obtenção de biocombustível**. 2013.104f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2013.

CARVALHO, F. L. de C. (2020). **Efeito de populações de plantas de soja cultivada sob baixa latitude visando a produção de óleo e proteína**. 2020. 61. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2020.

CAVALCANTE, K. S. dos R. (2018). **Produção de biodiesel no Brasil: vantagens e desvantagens do óleo de soja e sebo bovino**. 2020. 109f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2018.

COELHO, J. C. (2020). **Potencial de produção de etanol em sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)**. 2020. 50f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2020.

CORREIA, L. A. R. (2013). **Estudo do processo de pirólise para o aproveitamento sustentável de lodo digerido doméstico**. 2013.134f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2013.

COSTA, D. M. da (2015). **Avaliação de cultivares de batata-doce quanto a produtividade, composição e aproveitamento das ramas visando a produção de etanol**. 2015.56f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2015.

DEMIRBAS, A. (2009). **Biofuels: Securing the Planet's Future Energy Needs**, Energy Conversion and Management, Volume 50, Issue 9, 2009, Pages 2239-2249, ISSN 0196-8904. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.05.010>.

DIAS, V. C. (2026). **Efeito do *azospirillum brasilense* e nitrogênio no teor e no rendimento de óleo nos grãos de milho, em cultivo de entressafra, visando a produção de biodiesel**. 2016.48f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2016.

DOURADO, D. P. (2017). **Teores de proteína e óleo em grãos de soja com inoculação mista *azospirillum* e *bradyrhizobium* em região de baixa latitude**. 2017.50f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2017.

EMBRAPA (2024) – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Plano Diretor da Embrapa: 2024–2030**. – Brasília, DF : Embrapa, 2024. PDF (45 p.) 1. Agricultura. 2. Pesquisa agropecuária. 3. Embrapa – planejamento. I. Superintendência de Estratégia. II. Título. CDD (21. ed) 630.72

EPE (2023). Empresa de Pesquisa Energética. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis - Ano Base 2023**. Agosto 2024b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis-2023>

EPE (2024). Empresa de Pesquisa Energética. **Relatório Síntese Balanço Energético Nacional (BEN) 2024: Ano base, 2023**. Disponível em [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN\\_S%C3%ADntese\\_2024\\_PT.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf)

\_\_\_\_\_ (2024). Empresa de Pesquisa Energética. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2024: Ano base 2023**. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN\\_S%C3%ADntese\\_2024\\_PT.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf) Acesso em 10 nov. 2024.

FALEIRO, J. K. (2019). **Processos termocatalíticos aplicados ao aproveitamento sustentável dos resíduos agroindustriais da palha da cana-de-açúcar para produção de energia alternativa**. 2019.86f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2019.

FAO (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – **Blue Transformation in action**. Roma. ISSN 2410-5902 <https://doi.org/10.4060/cd0683en>

FIGUEIREDO, H. C. N. (2020). **Obtenção e caracterização de compósitos biodegradáveis a partir de resíduos agroenergéticos**. 2020. 90f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2020.

FLEXA, T. A. F. (2019). **Avaliação do potencial de etanol segunda geração a partir de lodo proveniente de indústria de MDF utilizando diferentes pré-tratamentos**. 2019.53. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2019.

FLORES JUNIOR, M. M. (2014). **Avaliação agrotecnológica de variedades de cana-de-açúcar para produção de etanol, na região central do Estado do Tocantins**. 2014.91f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2014.

FRANÇA, R. G. (2015). Eficiência do método de sacarificação simultânea à Fermentação (SSF) na produção de etanol e coproduto de raízes de genótipos de batata-doce. 2015.55f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2015.

GIACOMINI, I. (2012). **Avaliação de características agronômicas e físico-químicas de cultivares de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para a produção de etanol na Região Central do Tocantins**. 2012. 53f. Dissertação

(Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2012.

GONÇALVES, R. C. (2012). **Produtividade e absorção de nutrientes de três cultivares de batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] selecionadas para a produção de etanol**. 2012.63f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2012.

GOUVÊA, G. R. dos S. R. (2015). **Análise de patentes de tecnologias relacionadas a produção de bioetanol de batata-doce.2015**. 66. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2015.

HACKENHAAR, N. M. (2014). **Variabilidade genética em cultivares de soja e eficiência do potássio sobre os teores de óleo e proteína visando à produção de biocombustível**.2014.44f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2014.

IBGE (2017). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2017**: retratando a realidade do Brasil agrário. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br> Acesso em: 4 dez. 2024.

IBP (2023). Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás. **Caminhos para a descarbonização**. Novembro, 2023. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/personalizado/uploads/2024/05/caminhos-para-a-descarbonizacao-portugues.pdf>

IEA (2023). **Atualização do mercado de energia renovável** - junho de 2023, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-june-2023>, Licença: CC BY 4.0

\_\_\_\_\_ (2024). **Energy Efficiency 2024**, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2024>, Licence: CC BY 4.0

\_\_\_\_\_ (2024). **World Energy Outlook 2024**, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>, Licence: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A)

IEMA (2024). Instituto de Energia e Meio Ambiente. **Integração de energias renováveis ao sistema elétrico brasileiro**. Agosto de 2024. Nota técnica elaborada pelo IEMA em parceria com a Coalizão Energia Limpa. Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA). Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/produto/integracao-de-energias-renovaveis-ao-sistema-eletrico-brasileiro>. Acesso em 01 dez. 2024.

IPB (2024). Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás. **Os biocombustíveis e sua importância para a transição energética brasileira**. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/personalizado/uploads/2024/05/a-importancia-dos->

biocombustiveis-na-transicao-energetica-no-brasil-portugues.pdf Acesso em: 30 nov 2024.

IPCC (2023): Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

IPEA (2024). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Agenda 2030: objetivos de desenvolvimento sustentável: avaliação do progresso das principais metas globais para o Brasil: ODS 7: assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos**. Brasília: Ipea, 2024. 13 p. (Cadernos ODS, 7). DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/ri2024ODS7>

IRENA (2022), Panorama das Transições Energéticas Mundiais 2022: Voia d0 1,5°C, Agencia Internacional para Energias Renováveis, Abu Dhabi. ISBN: 978-92-9260-429-5

**Lei Nº 15.042 de 11** de dezembro de 2024. Disponível em:

<https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=15042&ano=2024&ato=997QTQE1UNZpWTb27>. Acesso em 15 de dezembro de 2024.

LIMA, D. de (2018). **Respostas fisiológicas e agronômicas da cultura de batata-doce desenvolvida para produção de etanol em função da aplicação de herbicidas**. 2018.107f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2018.

LIMA, R. P. (2020). **Seletividade de herbicidas pré-emergentes em cultivares de batata-doce (*Ipomoea b(L.) Lam.*), desenvolvidas para produção de etanol**. 2020. 50f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2020.

LOPES, S. C. (2019). **Avaliação de um material compósito polimérico bioinspirado reforçado com fibra de bagaço de cana-de-açúcar**. 2019. 106f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2019.

LUSTOSA, F. O. dos S. (2020). **Uso de geotecnologia na análise da dinâmica da eucaliptocultura para produção de carvão vegetal na região do Bico do Papagaio no estado do Tocantins**. 2020. 107f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2020.

LUZ, R. B. da (2018). **Reutilização de líquidos iônicos no pré tratamento de biomassa *Pennisetum Purpureum* (capim elefante)**. 2018.97f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2018.

MACÊDO, D. A. (2017). **Otimização da hidrólise enzimática das ramas de batata-doce (*Ipomoea batatas (L.) lam.*) para obtenção de etanol de segunda geração**.

2017.71f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2017.

MADEIRA, C. S. P. (2017). **Obtenção de ecocarvão de pirólise do lodo de esgoto para adsorção de poluentes em meio aquoso**. 2017.71f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2017.

MAIRESSE, M. H. (2015). **Potencial da biomassa aérea da *Ipomoea Batatas (I.) lam. e Pennicetum Purpureum Chumach cv. Napier e cv. roxo* sob ação de três complexos enzimáticos hidrolíticos na produção de etanol** 2g.2015.70f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2015.

MAPA (2006). Ministério Da Agricultura, Pecuária E Abastecimento. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**. 2. ed. rev. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

\_\_\_\_\_ (2024). Ministério da Agricultura e Pecuária. **A Agroenergia no Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/agroenergia-no-brasil> Acesso em: 13 nov 2024.

MARCOLINI, B. de P. (2018). **Inoculação de *Azospirillum Brasilense* e doses de nitrogênio, visando produção de etanol e teor de proteína nos grãos, em milho cultivado na entressafra sob baixa latitude**. 2018.80f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2018.

MARSON, K. A. (2012). **Utilização do resíduo de etanol de batata-doce (*Ipomoea batatas (Lam.)*) como fonte de adubação orgânica em *Brachiaria brizantha***. 2012.36f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2012.

MEADOWS, D. H., MEADOWS, D. L., & RANDERS, J. (2004). Limits to Growth: The 30-Year Update. **Chelsea Green Publishing**. Edição ilustrada, Editora: Chelsea Green Publishing, 2004, ISBN 1603581553, 9781603581554. Disponível em: [https://books.google.com.br/books/about/Limits\\_to\\_Growth.html?id=QRyQiINGW6oC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.br/books/about/Limits_to_Growth.html?id=QRyQiINGW6oC&redir_esc=y) Acesso em: 13 nov 2024.

MILANEZ, A. Y.; SILVA, G. B. da; GUIMARÃES, M. D. D.; FER, REIRA, C. L. A (2022). **Biodiesel e diesel verde no brasil: panorama recente e perspectivas**. BNDES Set., Rio de Janeiro, v. 28, n. 56, p. 41-71, set. 2022.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2022). **Biocombustíveis no Brasil: Panorama Atual e Perspectivas**. Brasília, 2022.

MONTEIRO, F. J. F. (2012). **Métodos estatísticos de análise da adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja na região centro sul do estado do Tocantins, visando a produção de biodiesel**. 2012. 67f. Dissertação (Mestrado em

Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2012.

MORAES JÚNIOR, A. de S. (2022). **Caracterização físico-químico e termográfica do biochar de partes do coco de babaçú (*Orbygnia Phalerata*) e avaliação do potencial aplicação em atividades agrícolas.** 2022. 58. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2022.

MORAES, D. B. de (2016). **Produção de etanol a partir da fração amilácea de *Oryza sativa* por hidrólise enzimática.** 2016.66f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2016.

MORAES, M. B. F. (2017). **Viabilidade econômica para produção de energia elétrica por biodigestores utilizando resíduos pecuários.** 2017.100f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2017.

MORAIS, H. C. de (2015). **Avaliação agrônômica e estabilidade de genótipos de batata doce selecionados para a produção de etanol.** 2015.49f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2015.

NOGUEIRA, W. A. (2019). **Utilização do Soro de Queijo na Potencialização da Produção de Etanol a Partir de Três Cultivares de Arroz.** 2019.67f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2019.

NUNES, A. P. (2015). **Estudo da macaúba (*Acrocomia aculeata*) como fonte de energia sustentável e obtenção de insumo para o setor farmacêutico.** 2015.111f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2015.

ODUM, H. T. (1996). Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making. Wiley, New York. Journal of Environmental Protection, Vol.6 No.12, December 17, 2015.

ONU (2019). Organização das Nações Unidas. **Relatório sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** Nova Iorque: ONU, 2019

\_\_\_\_\_ (2024). Organização das Nações Unidas. **Perspectivas da População Mundial 2024:** Resumo dos Resultados. ONU DESA/POP/2024/TR/NO. 9. Nova York: Nações Unidas.

OSTER, V. V. (2013). **Influência do tempo de extração e da razão amostra: solvente no processo de extração do óleo do caroço do pequi visando a produção de biodiesel.** 2013.72f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2013

PPGAD (2025). **Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital**. Campus Palmas. Disponível em: <https://www.uft.edu.br/campus/palmas/cursos/pos-graduacao/mestrados-e-doutorados/ppgad/sobre-o-ppga>

RAO, P. V.; MOHAMED, A.; PRASAD, A. G. D. (2020) **Classification and applications of biofuels**: a comprehensive review. ResearchGate, 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/figure/Figure-1-Classification-of-Biofuels\\_fig1\\_348611409](https://www.researchgate.net/figure/Figure-1-Classification-of-Biofuels_fig1_348611409). Acesso em: 11 jun. 2025.

RÊGO, F. S. (2016). **Aproveitamento do lodo de esgoto digerido para geração de energia elétrica**. 2016.93f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2016.

RIBEIRO, M. de F. (2016). **Determinação Simultânea de Fitoesteróis e Compostos Fenólicos em Folhas de *Ipomoea Batatas (L.) Lam.* Cultivadas para Produção Industrial de Etanol**. 2016.59f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2016.

SANTANA, W. R. de (2013). **Obtenção de genótipos de batata-doce (*Ipomoea batatas (L.) Lam.*) por cruzamentos biparentais visando a produção de etanol**. 2013.69f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2013.

SANTIN, F. M. M. (2014). **Produção de celulases através da fermentação em estado sólido utilizando como substrato sorgo lignocelulósico**. 2014.94f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2014.

SANTOS, E. F. dos (2019). **Co-digestão anaeróbia com manipueira e esterco bovino visando a produção de biogás e biofertilizante**. 2019.73f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2019.

SANTOS, G. A. A. (2015). **Utilização de líquidos iônicos no pré tratamento de biomassas lignocelulósicas para obtenção de etanol de segunda geração**. 2015.91f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2015.

SANTOS, L. F. S. (2015). **Divergência genética e eficiência no uso do nitrogênio por genótipos de milho visando a produção de óleo e proteína**. 2015. 47f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2015b.

SANTOS, W. B. R. (2016). **Estimativa da produção potencial de etanol da braquiária híbrida *Convert HD364* submetida a doses crescentes de adubação nitrogenada**. 2016.66f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2016.

SARRI JUNIOR, J. C. (2020). **Utilização da cama de frango de aviários para geração de energia elétrica através do biogás**. 2020. 66f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2020.

SERRANO FILHO, R. P. S. (2013). **Estudo do uso sustentável do Babaçú (*Orbignya speciosa*) para produção de biodiesel e implementação do mecanismo Redd+ no estado do Tocantins**. 2013.79f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2013.

SILVA, A. D. C. da (2019). **Etanótipos database: culturas agroenergéticas utilizadas para a produção de etanol**. 2019.43f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2019.

SILVA, A. S. e (2017). **Avaliação da produtividade de duas cultivares de batata-doce visando o rendimento de etanol nas condições do Tocantins**. 2017.91f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2017.

SILVA, D. L. da (2013). **Hidrólise ácida da farinha da casca de pequi (*Caryocar brasiliense*) visando à produção de bioetanol**. 2013.61f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2013.

SILVA, F. A. L. (2013). **Fermentação etanólica conjunta da batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam), Mandioca (*Manihot esculenta*) e Milho (*Zea mays*)**. 2013.117f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2013b.

SILVA, K. M. B. R. da (2016). **Sebo bovino frigoríficos do município de Araguaína – TO: matriz de insumo-produto e produção de biodiesel**. 2016.74f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2016.

SILVA, M. das M. P. da (2017). **Viabilidade técnica e econômica de um sistema de energia elétrica utilizando biogás obtido de resíduos úmidos de frigorífico de bovinos**. 2017.62f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2017b.

SILVA, W. A. T. e (2015). **Caracterização química, potencial de uso e aspectos poluentes de três cultivares de batata-doce antes e após a fermentação etílica**. 2015.56f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2015.

SIQUEIRA, L. N. de (2016). **Aproveitamento de biomassa residual lignocelulolítica da indústria de abate de bovinos para obtenção de bioetanol**.

2016.75f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2016.

SOARES, I. M. (2013). **Determinação do conteúdo fenólico, flavonoides e atividade antioxidante nas folhas de dez cultivares de *Ipomoea batatas (L.) lam. desenvolvidas para produção industrial de etanol***.2013.124f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2013.

SOUSA, I. J. A. de (2020). **Diferentes concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no pre tratamento de biomassas na produção de etanol 2G**. 2020. 61. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2020.

SOUSA, J. F. de (2017). **Estudo do processo de pirólise termoquímica para produção de bio-óleo a partir do lodo de esgoto**. 2017.101f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2017.

SOUSA, R. N. de (2021). **Avaliação do rendimento de hidrólise do pseudocaule da bananeira utilizando *Penicillium Oxalicum***. 2021. 68f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2021.

SOUSA, S. S. de (2020). **Análise da importância do sebo bovino para produção de biodiesel utilizando a análise pestal e swot com a escala likert**. 2020. 50f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2020.

SOUZA, H. de (2018). **Características agronômicas e potencial bioenergético das cultivares de sorgo sacarino e biomassa sob baixa latitude**. 2018. 57f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2018.

TAKADA, C. R. da S. (2014). **Obtenção de materiais compósitos a partir de resíduo agroenergético: caso do aproveitamento da palha da cana-de-açúcar**. / Camila Rosa da Silva Takada. – Palmas, TO, 2014.

TEIXEIRA, L. F. (2014). **Estudo do processo de pirólise termocatalítica como alternativa ao aproveitamento de lodo de esgoto doméstico**.2014.116f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2014.

TOLLER, M. (2016). **Adubação potássica e época de semeadura da soja para a produção de etanol: eficiência e comportamento de cultivares**. 2016.75f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-58 em Agroenergia, Palmas, 2016.

UNDESA (2024). United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2024). **Pespectivas da Ppulacao Mundial (2024):** Resumo dos resultados (UNDESA/POP/2024/TR/NO. 9)

VÍTOR, L. A. D. (2018). **A Eficiência da Hidrólise do Amido de Mandioca (*Manihot Esculenta Crantz*), em Diferentes Tempos de Ações Enzimáticas, Visando a Produção de Etanol.** 2018.50f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2018.

WANDERLEY, R. J. C. (2020). **Eficiência do peróxido de hidrogênio no pré-tratamento do resíduo industrial da macaúba (*Acrocomia aculeata*) para produção de etanol 2G.** 2020. 68. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2020.

XAVIER FILHO, B. J. (2016). **Avaliação técnica e econômica do uso do vapor em usina de cana-de-açúcar para produção de suas principais utilidades.** 2016.102f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2016.