

---

## Evapotranspiração da cana-de-açúcar no Nordeste Brasileiro: uma revisão bibliométrica

### Evapotranspiration from sugarcane in the Brazilian Northeast: a bibliometric review

---

**Rafael Rodrigo Ferreira de Lima**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9485-9283>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: [rafaelarielrodrigo@gmail.com](mailto:rafaelarielrodrigo@gmail.com)**Inajá Francisco de Sousa**ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6732-0963>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: [inajafrancisco@academico.ufs.br](mailto:inajafrancisco@academico.ufs.br)**Antônio Heriberto de Castro Teixeira**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6474-7459>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: [heribertoteixeira11@gmail.com](mailto:heribertoteixeira11@gmail.com)

---

#### RESUMO

A cultura canavieira representa um importante setor produtivo para o Brasil, que figura entre os principais produtores do globo. Para manter e/ou melhorar essa produtividade, o emprego de métodos que visem a melhoria na conversão de recursos naturais em biomassa é fundamental para o sucesso do processo. Tão importante quanto, é a popularização e o acesso dos avanços científicos que podem mudar a configuração produtiva da cana-de-açúcar. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é compreender o acesso da sociedade à pesquisa científica, a espacialização dos trabalhos produzidos e a interação entre a Academia e o setor produtivo no recorte temporal entre os anos de 2001 e 2022 no nordeste brasileiro. A metodologia aplicada envolveu uma revisão bibliométrica sobre a evapotranspiração dos canaviais no nordeste brasileiro por meio da plataforma de Periódicos Capes CAFE. Os resultados mostraram que existe uma pouca produção acessível para a sociedade que não pode ou não tem condições de acesso a periódicos pagos. Concluiu-se que há uma confluência necessária entre os conceitos e técnicas sobre a evapotranspiração e o aumento da eficiência da produtividade da cana-de-açúcar que se contrapõe à popularização científica desses aspectos para a sociedade.

**Palavras-chave:** Evapotranspiração; Popularização científica; Cana-de-açúcar

---

## ABSTRACT

Sugarcane cultivation represents an important productive sector for Brazil, which is among the main producers in the world. To maintain and/or improve this productivity, the use of methods that aim to improve the conversion of natural resources into biomass is fundamental to the success of the process. Equally important is the popularization and access to scientific advances that can change the productive configuration of sugar cane. In this sense, the objective of this work is to understand society's access to scientific research, the spatialization of the work produced and the interaction between the Academy and the productive sector in the time frame between the years 2001 and 2022 in the Brazilian northeast. a bibliometric review on evapotranspiration from sugarcane fields in northeastern Brazil using the Capes CAFe Periodicals platform. The results showed that there is little accessible production for society that cannot or does not have the means to access paid periodicals. It was concluded that there is a necessary confluence between the concepts and techniques on evapotranspiration and the increase in the efficiency of sugarcane productivity, which opposes the scientific popularization of these aspects for society.

**Keywords:** Evapotranspiration; Scientific popularization; Sugarcane

---

## INTRODUÇÃO

A produção agropecuária brasileira caracteriza-se por extensos campos de monocultivos voltados para a produção de *commodities* (Domingues et al., 2023). No que se refere à cana-de-açúcar, a busca pela melhor forma de produção que origine o aproveitamento integral da biomassa é fator decisivo para o sucesso desse ramo produtivo (Oliveira et al., 2023).

Nesse contexto, a movimentação de massa e energia promovida pelo mecanismo de evapotranspiração é preponderante para melhorar a conversão dos recursos naturais utilizados na produção de cana-de-açúcar, especialmente aquele relacionado à água, tendo em vista não apenas o melhor aproveitamento possível dos insumos como também a sustentabilidade de toda a cadeia produtiva e dos atores próximos envolvidos (Teixeira et al., 2010; Silva et al., 2011).

Nesse sentido, a busca pela compreensão da dinâmica que envolve a cultura canavieira é fundamental para o alcance dos objetivos produtivos e sustentáveis da cadeia produtiva e das populações diretamente envolvidas no processo. Dessa maneira, o objetivo deste trabalho é compreender o acesso da sociedade à pesquisa científica, a espacialização dos trabalhos produzidos e a interação entre a Academia e o setor produtivo no recorte temporal entre os anos de 2001 e 2022 no nordeste brasileiro.

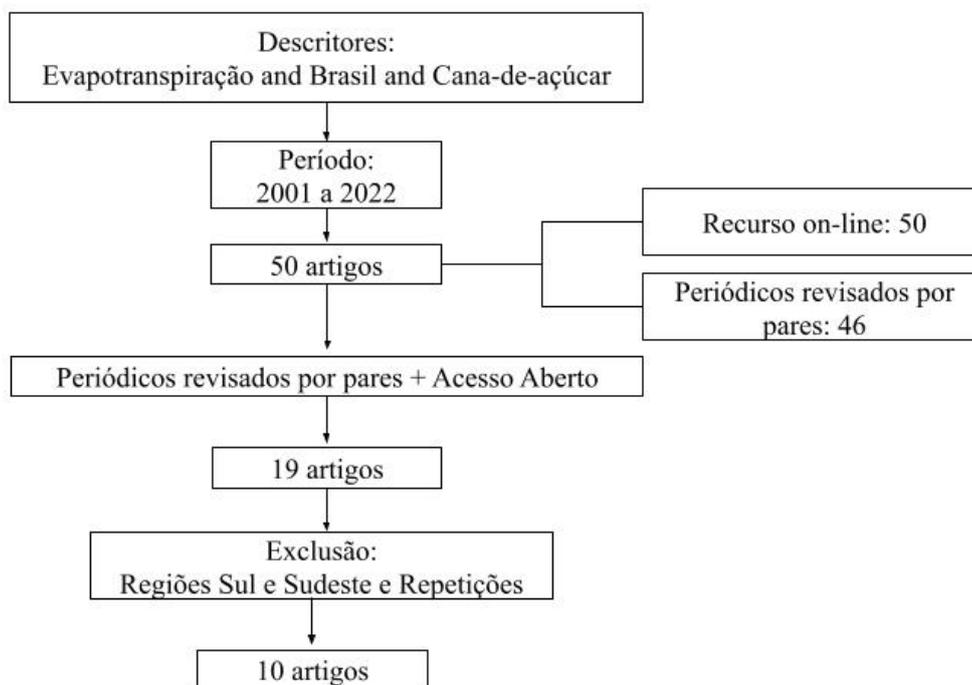
## METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste artigo é do tipo descritiva, de natureza qualitativa, que envolveu a pesquisa, seleção e análise dos artigos sobre a evapotranspiração de canaviais no Brasil, conforme o fluxograma 1.

Foi priorizada a plataforma de disponibilização de periódicos Capes CAFe, mantida pelo Governo Brasileiro e que reúne coleções diversas sobre a pesquisa científica, tendo em vista a valorização da pesquisa e dos pesquisadores brasileiros, com trabalhos publicados em periódicos nacionais e internacionais, e a necessidade de ampla divulgação das ferramentas fornecidas pelo poder público brasileiro.

Os descritores empregados foram “evapotranspiração”, “Brasil” e “cana-de-açúcar”, no recorte temporal entre os anos de 2001 e 2022, com restrição aos artigos revisados por pares e com acesso aberto, que versaram sobre a temática da evapotranspiração dos canaviais na Região Nordeste do Brasil.

**Fluxograma 1** - Percurso de seleção dos artigos analisados



Fonte: autores, 2023.

Além da extração dos dados, ilustrado por meio de gráficos, os artigos foram empregados para compor a breve revisão narrativa da literatura que embasaram este trabalho. Adicionalmente, foi realizada a pesquisa bibliográfica por meio de buscador acadêmico, utilizando os mesmos descritores acima mencionados, com restrição temporal entre 2019 e 2023, sem restrição idiomática, para a discussão teórica na forma de revisão narrativa.

## EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evapotranspiração é um importante meio de consumo de água nos ecossistemas e reflete a situação das mudanças climáticas, além de fornecer um panorama global do ciclo hidrológico (Jiao et al., 2018; Guo et al., 2023). Esse indicador é essencial para o entendimento dos ciclos globais, locais e regionais de água e de energia uma vez que afeta o clima e sua compreensão é fundamental para a gestão dos recursos hídricos e combate à seca (MA et al., 2019), pois é um processo de transferência de água e energia da terra para a atmosfera que determina a intensidade do impacto do ciclo hidrológico sobre o sistema climático (Jin et al., 2023).

É necessário, porém, para um melhor entendimento sobre esse processo, distinguir dois conceitos fundamentais, geralmente empregado nos processos de modelagem da Evapotranspiração, que são:

**Evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>)** - definida de acordo com a cultura em estudo e entendida como “a taxa de evapotranspiração de uma superfície de referência, não inferior à água, que pode ser uma superfície hipotética de gramíneas com características específicas” (Teixeira, 2010, p. 1290). Por meio da ET<sub>0</sub> ocorre a transferência de água entre o sistema solo-planta e a atmosfera, em sentido ascendente (Nuñez, 2017).

**Evapotranspiração real (ET)** - é a evapotranspiração que considera todas as condições de uma dada superfície vegetada (Teixeira, 2010). Nuñez (2017, p. 46) define-a como “a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, sendo esta em termos gerais igual ou menor que a evapotranspiração potencial”. Matematicamente, a ET é o produto da ET<sub>0</sub> pelo coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>), que considera apenas as condições ideais para o desenvolvimento da cultura, excluindo, portanto, problemas reais

como pragas, variação na fertilidade do solo e variações no fornecimento de água (Oliveira et al., 2021).

Jin et al. (2023) ressaltam que a Evapotranspiração é o somatório da transpiração da vegetação, correspondendo a 60% da evapotranspiração total de toda a superfície do globo terrestre, e a evaporação não proveniente da vegetação. Esses autores lembram ainda que a condição de aridez, traduzida em déficit de pressão de vapor (VPD) e a umidade do solo (SM) podem promover impactos mais incisivos em face do estresse hídrico sobre a transpiração e/ou evaporação. Hayat et al. (2020) complementam os fatores que modificam o ciclo hidrológico, especialmente a transpiração e o crescimento dos seres vivos vegetais, como a temperatura do ar, a radiação de ondas curtas, os pulsos de chuvas meteóricas e o conteúdo de água no solo. Em áreas irrigadas, Teixeira (2010) ressalta que a prática de cultivo e o tipo de sistema de irrigação são elementos que devem ser considerados no processo de evapotranspiração de áreas agrícolas. De acordo com Jiao et al. (2019), os fatores de transpiração podem ser divididos em dois grupos de mecanismos:

- a) demanda evaporativa - abrange a radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento;
- b) água de abastecimento - compreende a água disponível no solo e que serve para a transpiração das plantas.

Assim, a Evapotranspiração pode ser compreendida como a transpiração dos seres vivos vegetais e a evaporação da água proveniente do solo e da água interceptada pelo dossel das plantas e pela serrapilheira (Gao et al., 2022). Nesse sentido, ao buscar a sustentabilidade dos sistemas e ecossistemas é importante considerar as variações que ocorrem no ciclo hidrológico. Gao et al. (2022), à luz dos processos de mudanças climáticas, informam que estas provocam uma tendência de declínio na evapotranspiração no globo terrestre, principalmente porque, conforme Jiao et al. (2019), podem promover baixa precipitação e aquecimento, afetando diretamente o processo de evaporação de florestas, uma vez que a água presente no solo é o principal meio de transpiração e evaporação no ecossistema (Jiao et al., 2018). Questões associadas às mudanças climáticas, como a pressão dos sistemas agroalimentares podem aumentar a

área destinada à produção agrícola, acarretando na necessidade de estudo da evapotranspiração relacionada ao manejo da água e à produtividade das culturas (Kool et al., 2014).

A aplicação de ferramentas e modelos para o sensoriamento remoto representa um processo de baixo custo e eficiente para a previsão do balanço hídrico e de vegetação, permitindo, além do dimensionamento da utilização de áreas para a atividade agropecuária, o monitoramento dos indicadores das condições ambientais de áreas críticas (Jardim et al., 2022; Almeida et al., 2023) como as áreas residuais da Mata Atlântica e da área do Semiárido Brasileiro. Nesse sentido, Silva (2018), evidencia que a Evapotranspiração permite o uso racional e planejado do processo de irrigação na agricultura, em especial nas regiões onde há limitações hidrológicas, pois, ainda que a irrigação permita o desenvolvimento da atividade agrícola em diversas regiões submetidas à deficiência hídrica naturalmente, o descontrole na utilização da água implica em efeitos negativos sobre o ambiente local como a possibilidade de indisponibilidade de água e a possível estagnação da atividade agrícola.

## **A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

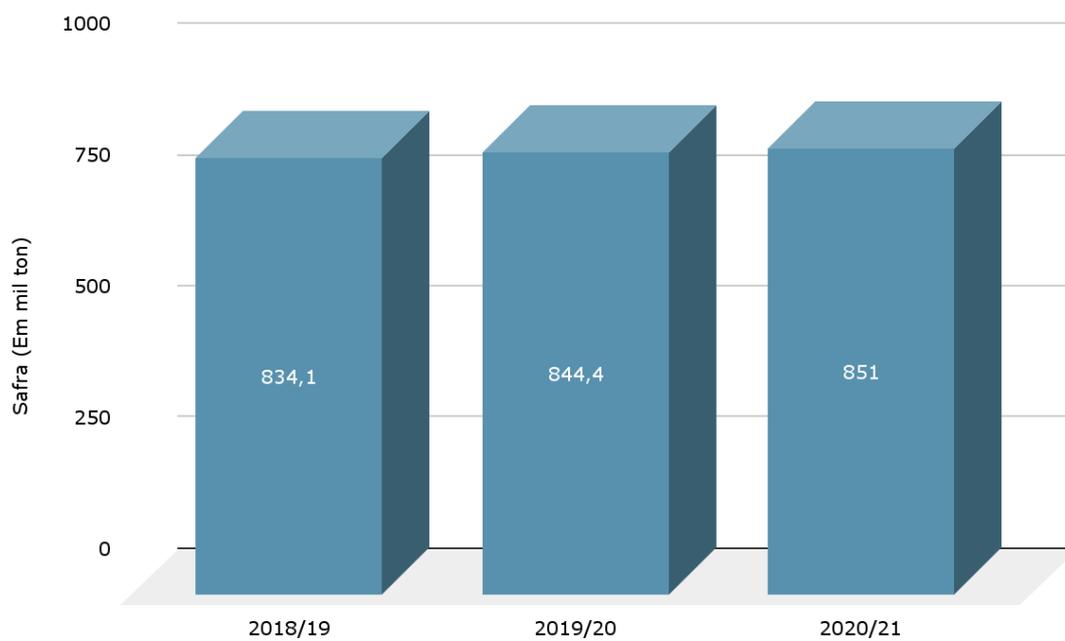
A cana-de-açúcar é cultivada na zona tropical do planeta, com forte desenvolvimento nas regiões da América Latina, da África e do Sudeste Asiático (Silva et al., 2015) e que possui uma boa resposta para a conversão de biomassa em virtude da disponibilidade de água, nutrientes e radiação (Silva et al., 2011). Essa característica é, simultaneamente, uma virtude para o vegetal e uma dificuldade para a manutenção e/ou expansão da produtividade tendo em vista que as áreas em que os canaviais são plantados, não raro, em solo ácido, de baixa fertilidade e de grande variação pluviométrica (Mendonça et al., 2020).

No Brasil, destacado produtor de cana-de-açúcar no cenário global (Godoi Neto ET AL., 2020), a região Nordeste é conhecida por sua produção canavieira, cujas áreas ocupadas para essa atividade agrícola são os Tabuleiros Costeiros e a Zona da Mata (Silva et al., 2015).

De acordo com os dados oficiais, a produção de cana-de-açúcar na Região Nordeste do Brasil entre as safras de 2018/19 e 2020/21, a despeito das vicissitudes

políticas e mercadológicas, apresentou sensível aumento (Vidal, 2021), conforme o Gráfico 1.

**Gráfico 1** - Evolução da safra de cana-de-açúcar na Região do Nordeste do Brasil entre os anos de 2018 e 2021



Fonte: autores, 2023.

A distribuição da produção da cana-de-açúcar na Região Nordeste em todos os nove estados e é destinada à exportação para, dentre outros, os Estados Unidos da América, a Argélia, o Canadá, a Mauritânia, a Venezuela, a Geórgia, a Indonésia, o Reino Unido, o Senegal e a China (Vidal, 2021).

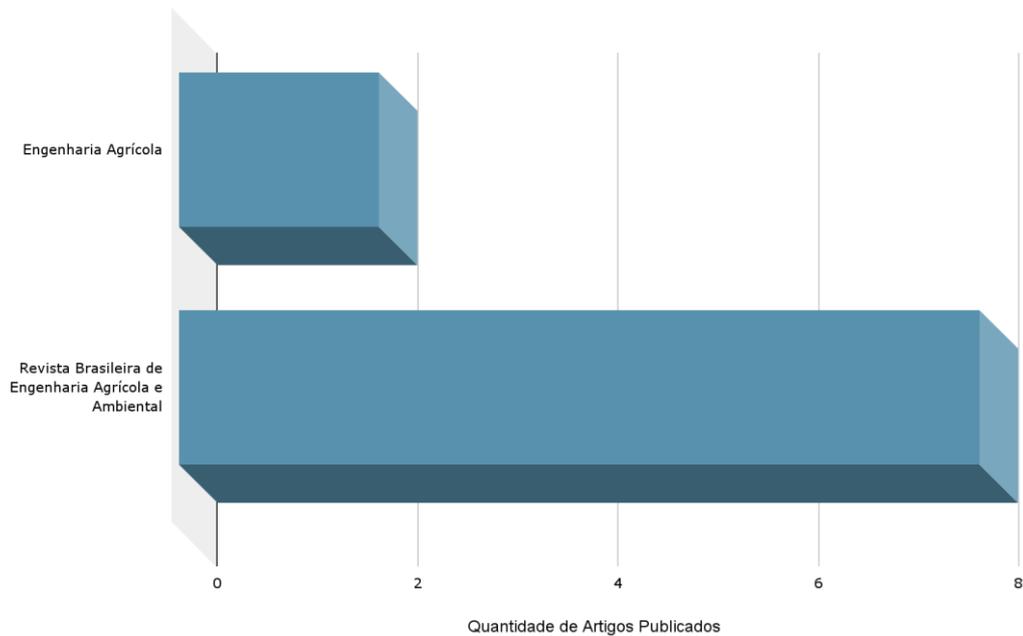
Tendo em vista, portanto, a importância social, política e econômica que desempenha a cultura da cana-de-açúcar para o Brasil e para todas as regiões geográficas que a cultivam, é fácil supor que a pesquisa sobre essa cultura seja incentivada e divulgada para todos os atores que compõem a cadeia produtiva canavieira e para a sociedade, dentro do espectro dos impactos ambientais.

## A CULTURA CANAVIEIRA E A ACADEMIA NORDESTINA

Ao aplicar os filtros descritos para o mapeamento da cultura, apenas dois periódicos são postos em evidência com trabalhos sobre os aspectos da evapotranspiração

de canaviais, em um total de 10 trabalhos divididos entre os periódicos Engenharia Agrícola, 2, e Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 8, conforme o Gráfico 2.

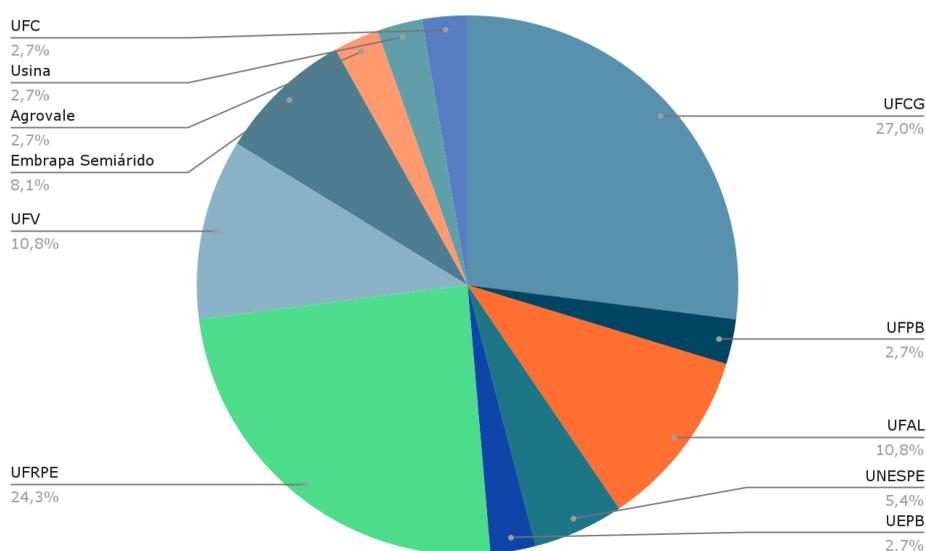
**Gráfico 2** - Distribuição de publicações entre os periódicos



Fonte: autores, 2023.

De acordo com o Gráfico 3, os pesquisadores que publicaram nesses periódicos estavam vinculados, de forma permanente ou temporária, à Universidade Federal do Ceará, à Universidade Federal de Campina Grande, à Universidade Federal da Paraíba, à Universidade Federal de Alagoas, à Universidade Federal Rural de Pernambuco, à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, à Universidade Federal de Viçosa e à Universidade Estadual da Paraíba. Observa-se a participação de pesquisadores de duas instituições de ensino do sudeste. Além disso, há a participação do setor econômico envolvido, Usina, e da Embrapa Semiárido.

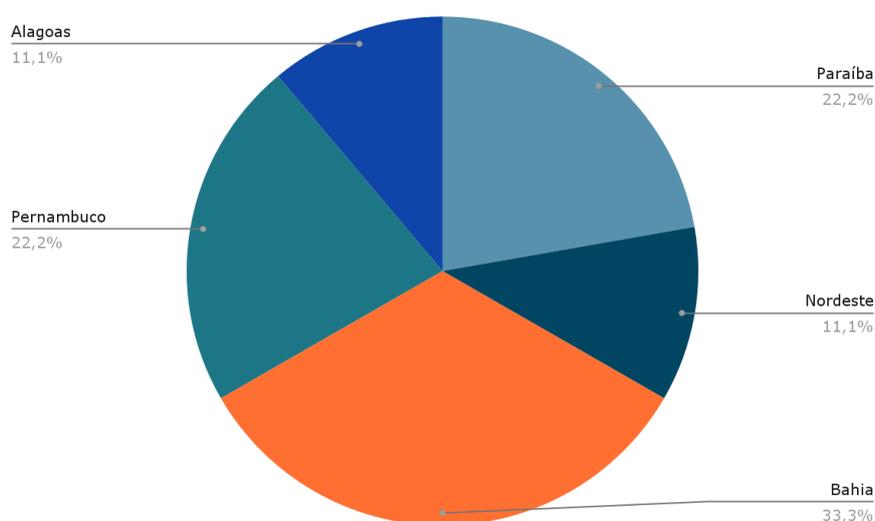
**Gráfico 3 - Vínculos institucionais dos pesquisadores**



Fonte: autores, 2023.

Em relação aos locais, conforme o Gráfico 4, onde esses estudos foram desenvolvidos, há um estudo que abrangeu toda a região nordeste e, individualmente, os estados de Alagoas, Paraíba, Pernambuco e Bahia. Dentre os estados que situaram os estudos, o estado da Bahia foi o que concentrou a maior parte dos estudos, especificamente na cidade de Juazeiro, na região do Rio São Francisco.

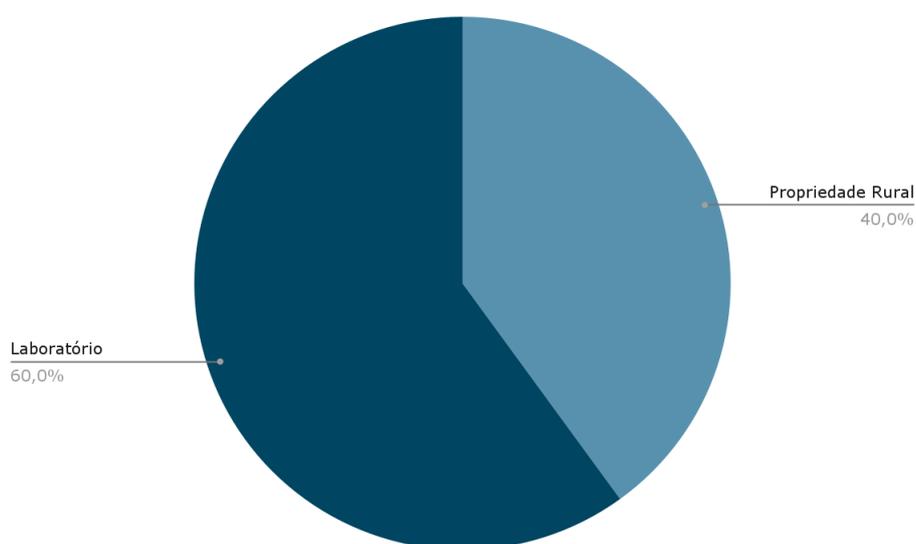
**Gráfico 4 - Estados nordestinos onde foram desenvolvidos os trabalhos**



Fonte: autores, 2023.

Em relação ao lugar do estudo, propriamente dito, e que demonstra a possibilidade de aproximação entre a Academia e o setor produtivo, observa-se, no Gráfico 5, que 40% dos trabalhos foram desenvolvidos em propriedades rurais, enquanto que a maioria, 60%, foram desenvolvidos em unidades experimentais dentro do perímetro universitário. Tal constatação é importante porque demonstra que os estudos sobre a temática é acompanhada e acolhida pelo setor produtivo, permitindo o desenvolvimento da pesquisa e da atividade econômica conjuntamente.

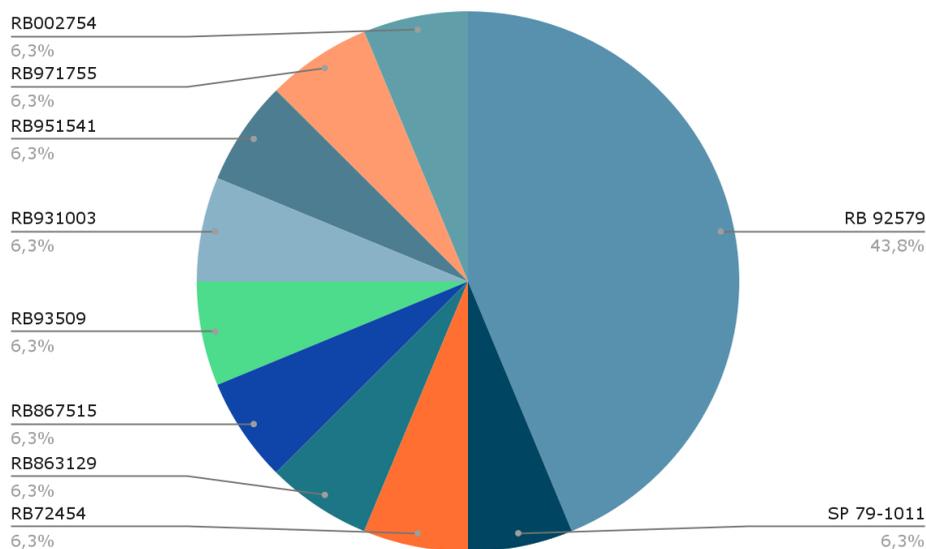
**Gráfico 5** - Local de desenvolvimento das pesquisas



Fonte: autores, 2023.

No que se refere às variedades de cana-de-açúcar empregadas nas pesquisas desenvolvidas, destaca-se, majoritariamente, a variedade RB 92579 seguida, equitativamente, pelo emprego das demais nove variedades, conforme o Gráfico 6.

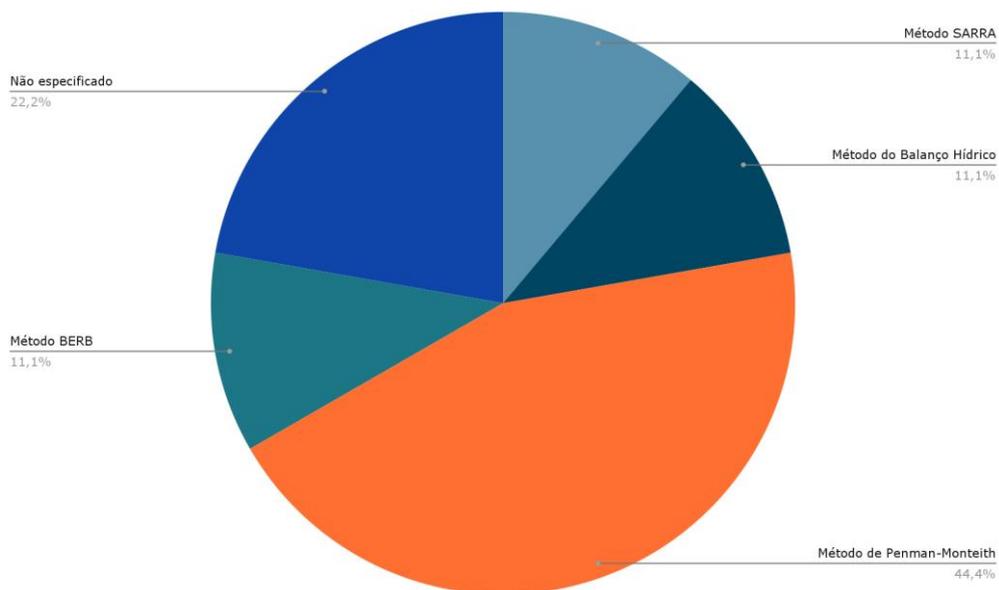
**Gráfico 6 - Variedades de cana-de-açúcar utilizadas nas pesquisas**



Fonte: autores, 2023.

Os métodos utilizados nos trabalhos analisados foram o SARRA, o de Balanço Hídrico, BERB e de *Penman-Monteith*, tendo este último o protagonismo no conjunto dos artigos publicados, conforme o Gráfico 7.

**Gráfico 7 - Variedades de cana-de-açúcar utilizadas nas pesquisas**



Fonte: autores, 2023.

Observa-se, assim, que a pesquisa sobre a temática envolvendo a cultura da cana-de-açúcar é intensa, embora pudesse envolver mais atores sociais e em mais localidades, como forma de popularização científica, destoa dessa realidade ideal de acesso irrestrito ao conhecimento, de forma direta, clara, concisa e prática.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A publicação com acesso aberto sobre a evapotranspiração da cultura canavieira na Região Nordeste apresentou baixo volume de trabalhos, embora com boa dispersão entre os estados em que se desenvolveram as pesquisas e boa interação entre a Academia e o setor produtivo da cana-de-açúcar.

No entanto, isso também reflete em um corporativismo dos resultados da pesquisa científica sobre o tema que deixa a sociedade a par apenas de uma parte diminuta do que é desenvolvido pelos pesquisadores brasileiros. A barreira econômica imposta em artigos publicados em periódicos sem acesso aberto torna obsoleta as informações da sociedade e pode levar a entendimentos e conclusões errôneas sobre o avanço da pesquisa sobre a evapotranspiração dos canaviais e a importância, eficiência e desenvolvimento da cultura canavieira.

Ainda que a Região Nordeste tenha apresentado uma evolução da produção canavieira tímida (Vidal, 2021), é necessário buscar a compreensão dos motivos que levam a isso - seja na tríade da sustentabilidade, seja no nível de adesão e reflexão por parte da sociedade e dos gestores públicos. As informações ora apresentadas esclarecem que há uma confluência necessária entre os conceitos e técnicas sobre a evapotranspiração e o aumento da eficiência da produtividade da cana-de-açúcar que se contrapõe à popularização científica desses aspectos para a sociedade.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. L. H. de; et al. Forage Mass Estimation in Silvopastoral and Full Sun Systems: Evaluation through Proximal Remote Sensing Applied to the SAFER Model. **Remote Sensing**, v. 15, n. 3, p. 815, 2023.

DOMINGUES, R. C.; et al. Queima de biomassa da cana-de-açúcar e hospitalizações de crianças e idosos por agravos respiratórios em Pernambuco, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 39, p. e00238422, 2023.

- GAO, G.; et al. A global synthesis of transpiration rate and evapotranspiration partitioning in the shrub ecosystems. **Journal of Hydrology**, v. 606, p. 127417, 2022.
- GODOI NETO, A. H.; et al. Water potential, biochemical indicators and yield of sugarcane irrigated with brackish water and leaching. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 312-318, 2020.
- GUO, F.; et al. Estimation of daily evapotranspiration in gully area scrub ecosystems on Loess Plateau of China based on multisource observation data. **Ecological Indicators**, v. 154, p. 110671, 2023.
- HAYAT, M.; et al. A multiple-temporal scale analysis of biophysical control of sap flow in *Salix psammophila* growing in a semiarid shrubland ecosystem of northwest China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 288, p. 107985, 2020.
- JARDIM, A. M. da R. F.; et al. Using remote sensing to quantify the joint effects of climate and land use/land cover changes on the caatinga biome of northeast Brazilian. **Remote Sensing**, v. 14, n. 8, p. 1911, 2022.
- JIAO, L.; et al. Evapotranspiration partitioning and its implications for plant water use strategy: Evidence from a black locust plantation in the semi-arid Loess Plateau, China. **Forest ecology and management**, v. 424, p. 428-438, 2018.
- JIAO, L.; et al. Determining the independent impact of soil water on forest transpiration: A case study of a black locust plantation in the Loess Plateau, China. **Journal of Hydrology**, v. 572, p. 671-681, 2019.
- JIN, Z.; et al. Weakening amplification of grassland greening to transpiration fraction of evapotranspiration over the Tibetan Plateau during 2001-2020. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 341, p. 109661, 2023.
- KOOL, D.; et al. A review of approaches for evapotranspiration partitioning. **Agricultural and forest meteorology**, v. 184, p. 56-70, 2014.
- MA, N.; et al. Complementary-relationship-based modeling of terrestrial evapotranspiration across China during 1982–2012: Validations and spatiotemporal analyses. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 124, n. 8, p. 4326-4351, 2019.
- NUÑEZ, D. N. C. **Determinação da evapotranspiração com aplicação do algoritmo SAFER em imagens LANDSAT na escala de microbacia**. 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/8972144e-5f0a-4668-aaa6-fc3b0362322a>. Acesso em: 04 set. 2023.
- OLIVEIRA, M. R. et al. Os Impactos Ambientais do Setor Sucroenergético e e Uso de Indicadores de Sustentabilidade. **RDE-Revista de Desenvolvimento Econômico**, v. 2, n. 52, 2023.

OLIVEIRA, D. A. de .; et al . Estimativa Da Demanda De Água Da Cultura Da Cana-De-Açúcar Irrigada Utilizando Sensoriamento Remoto. **Irriga**, [S. l.], v. 1, n. 4, p. 678–686, 2021.

SILVA, V. de P. R. da; et al. Medições e modelagem da pegada hídrica da cana-de-açúcar cultivada no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 521-526, 2015.

SILVA, V. de P. R. da; et al. Risco climático da cana-de-açúcar cultivada na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 180-189, 2013.

SILVA, T. G. F. da; et al. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 1257-1265, 2011.

SILVA, Y.D.F.D. **Uso do Algoritmo SAFER para Evapotranspiração real na Cultura da Soja**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, Brasil, 2018; 57p.

MENDONÇA, M. F. de; et al. Yield and technological quality of sugarcane under irrigation depths and nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 482-489, 2020.

TEIXEIRA, A. H. de C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated crops and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith equation. **Remote Sensing**, v. 2, n. 5, p. 1287-1319, 2010.

VIDAL, M. F. Açúcar: cenário mundial e situação de produção no Brasil e no nordeste brasileiro. **Caderno Setorial ETENE**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 6, n. 162, 2021.