



Estudo climatológico das áreas de cultivo de cana-de-açúcar em Goiás e São Paulo

Gabriel de Souza Ramires | gabriel.sr16@aluno.ifsc.edu.br¹

Helder Florentino da Silva | helder.fs@aluno.ifsc.edu.br²

Daniel Ramos de Araujo | daniel.a27@aluno.ifsc.edu.br³

Adriano Vitor | adriano.vitor@ifsc.edu.br⁴

Mário Leal de Quadro | mquadro@ifsc.edu.br⁵

Michel Nobre Muza | michel.muza@ifsc.edu.br⁶

Edital de fomento 03/2025/PROPP-PIBITI (CNPq/IFSC)
Trabalho de Pesquisa

DT 2 - Meio Ambiente, Agroindústrias, Territórios e Sustentabilidade Socioambiental

Resumo:

Este estudo realizou uma análise climatológica das áreas de cultivo de cana-de-açúcar em Goiatuba (GO) e Ribeirão Preto (SP) utilizando dados mensais de precipitação e temperatura, para identificar padrões climáticos e eventos extremos que impactam a produtividade e a resiliência da cultura. A metodologia baseou-se na obtenção de dados de reanálise ERA5 no formato NetCDF, do período de 1995 a 2025, e na aplicação de análises estatísticas descritivas para avaliar médias mensais, variações temporais e extremos climáticos. Os resultados mostraram comportamento típico de clima Tropical Semiúmido(Aw) em ambas as regiões, com sazonalidade da precipitação e baixa amplitude térmica anual. Em Ribeirão Preto, os meses de crescimento vegetativo apresentaram volumes substanciais de chuva, enquanto em Goiatuba outubro registrou volumes inferiores. As temperaturas médias anuais foram de 23 °C em Ribeirão Preto e 24,7 °C em Goiatuba. A análise indicou que períodos secos coincidem com fases de pré-colheita, potencialmente favoráveis, mas eventos extremos como estiagens prolongadas ou excesso hídrico fora de época podem comprometer a produtividade, especialmente nas fases de perfilhamento e crescimento.

Palavras-chave: climatologia; eventos extremos; cana-de-açúcar.

Introdução

Este trabalho apresenta uma análise climatológica das áreas de cultivo de cana-de-açúcar nos municípios de Goiatuba (GO) e Ribeirão Preto (SP), com base em dados mensais de precipitação e temperatura do ar a 2 metros de altura (t2m). A pesquisa está inserida em um contexto mais amplo de estudos sobre agricultura regenerativa, com foco na identificação e compreensão de eventos climáticos extremos que possam afetar a

¹ Gabriel de Souza Ramires, Engenharia Eletrônica/IFSC

² Helder Florentino da Silva, Engenharia Civil/IFSC.

³ Daniel Ramos de Araujo, Mestrado Profissional em Clima e Ambiente/IFSC

⁴ Adriano Vitor, DALTEC/IFSC.

⁵ Michel Nobre Muza DAS/IFSC.

⁶ Mário Leal de Quadro DAS/IFSC.

produtividade, a resiliência e a sustentabilidade da cultura nesses importantes pólos produtores.

De acordo com a Conab (2024) a importância deste estudo está relacionada ao fato de que os estados de Goiás e São Paulo estão entre os principais produtores de cana-de-açúcar do país, tornando essencial o entendimento das condições climáticas que afetam essa atividade. Eventos como períodos de seca, excesso de chuvas e temperaturas elevadas podem impactar diretamente o crescimento da planta e a produtividade (Embrapa, 2021), o que reforça a necessidade de análises baseadas em dados climáticos.

Nesse contexto, a situação-problema deste trabalho está na necessidade de compreender melhor como as variações de precipitação e temperatura ao longo do tempo se relacionam com a ocorrência de eventos extremos nessas regiões, analisando os dados mensais de t2m e precipitação, identificando padrões climáticos e possíveis eventos extremos. Além disso, pretende-se contribuir para a compreensão dessas variáveis no contexto da produção agrícola.

Fundamentação teórica

A fundamentação teórica baseia-se nos princípios da climatologia aplicada à agricultura, com foco na análise de variáveis meteorológicas. A identificação de padrões climáticos e de eventos extremos, como períodos de estiagem, excesso de chuvas e temperaturas elevadas, permite uma melhor interpretação dos riscos associados à produção agrícola, contribuindo para o planejamento e a tomada de decisões mais assertivas.

Ao considerarmos a forte dependência das condições climáticas para o desenvolvimento fisiológico da cana-de-açúcar, a cana-de-açúcar possui forte dependência do clima para seu desenvolvimento fisiológico, sendo que em temperaturas maiores que 18°C, a cana poderá seguir estágio de crescimento, e em temperaturas inferiores ocorre a paralisação do crescimento e subsequente acúmulo de açúcar. De forma análoga, a deficiência hídrica também paralisa o crescimento e favorece a concentração de açúcar (Aude, 1993). De acordo com Aude (1993, p. 244), "em todas as partes do mundo onde se cultiva cana-de-açúcar, a maturação é drasticamente

influenciada pelas condições climáticas" encontramos subsídio acadêmico para fundamentar nosso objeto de pesquisa no que refere-se à sensibilidade fenológica da cana-de-açúcar frente a extremos climáticos.

Procedimentos metodológicos

A metodologia deste trabalho baseou-se na obtenção e análise de dados climáticos, para o período de 1995 a 2025, provenientes de reanálises ERA5 (Hersbach *et al.*, 2020). Inicialmente, foram selecionadas as variáveis de interesse, precipitação e t2m para as regiões dos municípios de Goiatuba e Ribeirão Preto. Os dados foram extraídos no formato NetCDF, padrão utilizado para armazenamento de dados multidimensionais em ciências atmosféricas.

Na etapa seguinte, os arquivos .nc foram convertidos para o formato .csv. A partir disso, foram realizadas análises estatísticas descritivas das variáveis, incluindo a avaliação de médias mensais, variações ao longo do tempo e identificação de possíveis extremos climáticos, tanto de precipitação quanto de temperatura.

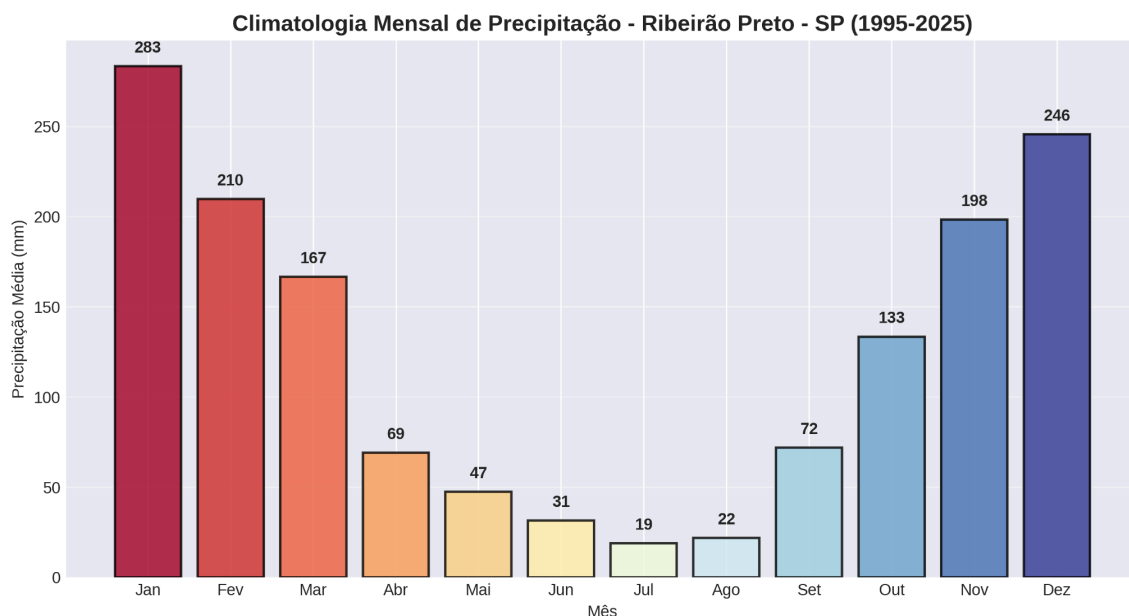
Foram conduzidos estudos climatológicos para caracterização do comportamento climático das regiões analisadas, identificando padrões e eventos que possam impactar o cultivo de cana-de-açúcar.

Resultados e discussões

a. Climatologia das Regiões Estudadas

Os gráficos das figuras que ilustram as análises seguintes servirão de base na continuidade dos estudos. Serão extraídos os dados que irão compor alguns dos índices de extremos climáticos (ETCCDI) *Expert Team on Climate Change Detection and Indices*, como CDD, CWD e Rx5day, comumente usados para análise dos eventos extremos sob os cultivos agrícolas (Chen *et al.*, 2026) para comparação dos potenciais estresses climáticos como a falta de chuva na fase de crescimento vegetativo e o excesso de chuva na fase de pré-colheita nas regiões produtoras de cana-de-açúcar de Ribeirão Preto e Goiatuba.

Figura 1 - Precipitação Média Mensal de Ribeirão Preto.

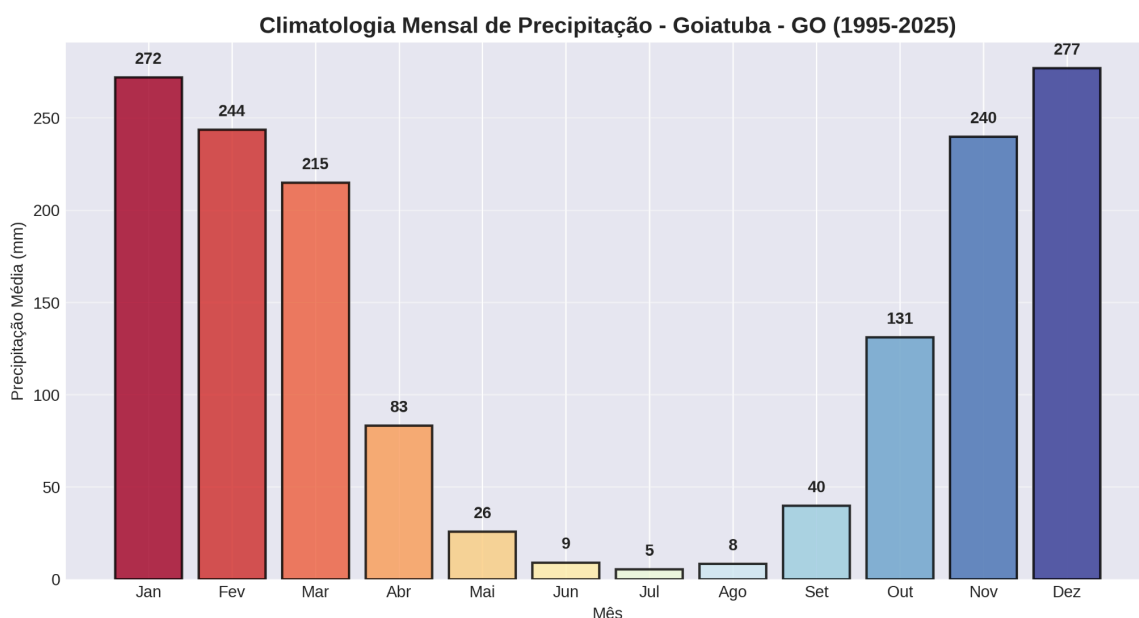


Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 1 demonstra o comportamento da variável de precipitação na região de cultivo de Ribeirão Preto, evidenciando um comportamento típico, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, classificado como Tropical Semiúmido (Aw), verões com maior precipitação e invernos secos. Esse regime observado mostra que nos meses de crescimento vegetativo os volumes médios de precipitação foram elevados, acima de 133 mm, exceto Setembro com média de 72 mm enquanto nos meses de pré-colheita (Abril a Outubro) os volumes foram reduzidos, abaixo de 72 mm, exceto Outubro com 133 mm.

Embora essa alternância, identificada na Figura 1, entre uma estação úmida bem definida e um período seco durante a maturação tende a favorecer a produção da cana-de-açúcar, a forte dependência da cultura em relação à regularidade das precipitações nos períodos de crescimento vegetativo pode tornar o sistema produtivo mais suscetível à ocorrências de anomalias climáticas.

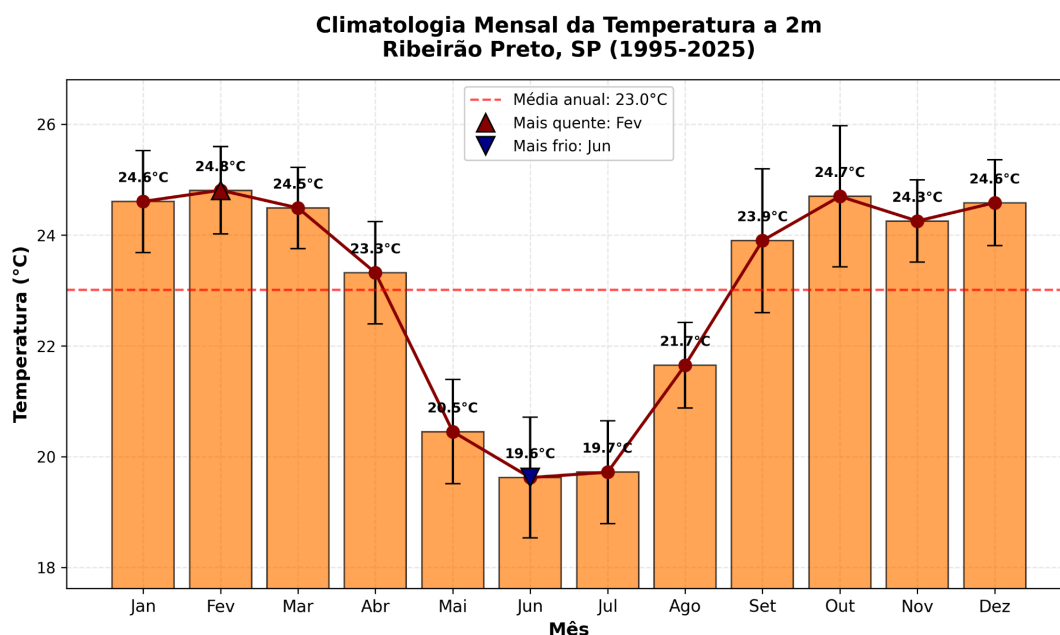
Figura 2 - Precipitação Média Mensal de Goiatuba.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 2 demonstra o comportamento da precipitação na região de cultivo de Goiatuba, situando-se como Tropical Semiúmido (Aw) mas com inverno seco. Podemos observar que na região, nos meses de crescimento vegetativo (Outubro a Fevereiro) os volumes médios de precipitação estiveram acima dos 215mm, com destaque inferior para Outubro (131mm) que não passou de 55% dos volumes observados no período, podendo indicar vulnerabilidade ou atrasos no início das precipitações durante as fases de maior demanda hídrica, enquanto nos meses de pré-colheita (Maio a Setembro) os volumes foram reduzidos, permanecendo abaixo dos 40 mm, como o esperado para o período.

Figura 3 - t_{2m} Média Mensal, Ribeirão Preto.

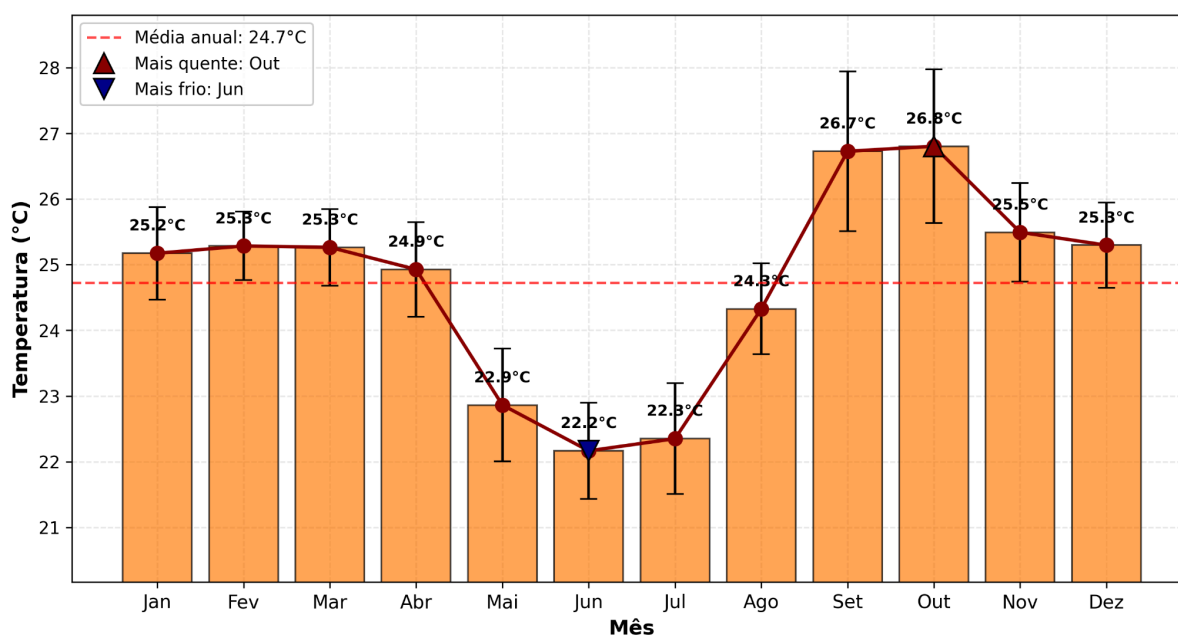


Fonte: Elaborado pelos autores

Na Figura 3 vemos um comportamento próprio das temperaturas médias mensais na região de acordo com a classificação climática Tropical Semiúmido (Aw), com temperaturas médias, mínimas, acima de 18 °C e verões acima de 24 °C. Estes dados de temperaturas médias a 2m mostram no estudo climatológico uma baixa amplitude, com uma faixa de oscilação próxima a 5,3 °C, esse comportamento térmico favorece a manutenção da atividade fisiológica da cana-de-açúcar durante grande parte do ciclo produtivo. Estudos futuros avaliarão a influência que este perfil de temperatura tem sobre os índices climáticos adotados.

Figura 4 - t_{2m} Média Mensal, Goiatuba.

**Climatologia Mensal da Temperatura a 2m
Goiatuba, GO (1995-2025)**



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 4 mostra uma oscilação próxima a da Figura 3, em 4,6 °C, embora a média anual dessa região tenha ficado em 24,7 °C, observamos as temperaturas de inverno influenciando a média mais alta em 1,7 °C acima de Ribeirão Preto. A correlação da influência destes dados nos índices climáticos juntamente com a correlação da Climatologia da Figura 3, poderá subsidiar a análise de impactos dos eventos extremos no cultivo de cana-de-açúcar. Observa-se condições favoráveis ao desenvolvimento fisiológico da cana-de-açúcar, uma vez que esse regime térmico tende a favorecer processos metabólicos associados ao crescimento vegetativo.

b. Cana-de-Açúcar e sua sensibilidade climática ao longo do cultivo

Entre os períodos críticos identificados para a cana-de-açúcar, a fase de perfilhamento destaca-se como maior suscetibilidade ao déficit hídrico. De acordo com o estudo de Brunini e Turco (2018), estresse por falta de água durante o perfilhamento reduz o número de colmos por área, afetando o potencial produtivo da lavoura. Secas que

coincidem com o perfilhamento configuram um cenário de alto risco climático para a produção de cana-de-açúcar. De forma análoga, Sanghera *et al.* (2022) avaliaram os efeitos do alagamento em três fases distintas do cultivo: perfilhamento, crescimento rápido e maturação, demonstrando que o encharcamento do solo reduz parâmetros fisiológicos como área foliar, biomassa seca total e teor de clorofila.

Quadro 1 – Correlação entre períodos críticos da cana-de-açúcar e eventos climáticos adversos

Fase Fenológica	Dias após o plantio (dias)	Eventos Climáticos	Impactos Potenciais
Perfilhamento	30-120	Seca prolongada ou veranico (>15-20 dias sem chuva)	Redução do número de perfilhos (colmos)
Crescimento	120-270	Seca severa (estiagem)	Redução do peso e comprimento dos colmos
Crescimento	120-270	Chuva intensa e contínua (alagamento/encharcamento do solo)	Redução da biomassa seca, clorofila e indução de estresse oxidativo na planta
Maturação	270-colheita	Chuva intensa e contínua (alagamento/encharcamento do solo)	Redução da área foliar e biomassa

Fonte: Elaborada pelos autores.

Considerações finais

Para os dados coletados e compilados até o presente estágio do trabalho refletem um comportamento ombrotérmico do clima típico das regiões estudadas, no período considerado, com sazonalidade das precipitações e baixas amplitudes térmicas anuais, características próprias do clima Tropical Semiúmido (Aw) em ambas as regiões, embora com diferenciação nas máximas temperaturas e no regime hídrico no inverno.

Os períodos de maior disponibilidade hídrica coincidem com as fases de crescimento vegetativo, com volumes menores na região de Goiatuba nos meses de outubro, enquanto os períodos mais secos ocorrem próximos da pré-colheita, favorecendo o desenvolvimento da cultura. Observa-se que a importância de se avançar na definição acurada e identificação dos eventos extremos, como estiagens prolongadas ou excesso de precipitação fora de época, podem gerar impactos na produtividade.

As pequenas variações térmicas observadas sugerem estabilidade nesta variável, mas sua interação com a precipitação ainda precisa ser explorada por meio dos índices climáticos específicos, como os do ETCCDI. A continuidade da pesquisa permitirá uma avaliação desses riscos, contribuindo para estratégias de manejo eficientes e o fortalecimento da resiliência na produção de cana-de-açúcar frente às variabilidades climáticas. Nas etapas subsequentes da pesquisa, os padrões identificados e analisados em conjunto com os índices de extremos climáticos do ETCCDI, permitirão avaliar de forma mais abrangente a influência da variabilidade sobre os riscos climáticos associados às diferentes fases fenológicas da cana-de-açúcar.

Os resultados obtidos permitiram atingir os objetivos propostos nesta etapa da pesquisa, uma vez que a análise das variáveis permitiu a caracterização climatológica nas regiões estudadas e identificar padrões sazonais, indicando que os procedimentos metodológicos adotados foram adequados; como continuidade, a aplicação de índices de extremos climáticos (ETCCDI) tende a aprimorar os resultados. A pesquisa contribuiu para a formação dos estudantes envolvidos ao promover as competências técnicas em processamento e análise de dados climáticos, e fortalecer o trabalho colaborativo, garantindo a indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão.

Referência ao fomento recebido

Esse projeto foi contemplado pelo edital 03/2025/PROPPI-PIBITI, por meio de duas bolsas de graduação e recursos para pesquisa.

Referências

AUDE, M. I. S. **Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 241-248, 1993. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/FPRy8vW7pSYcpQFB934qn8F/>. Acesso em: 4 jun. 2026.

BRUNINI, R. G.; TURCO, J. E. P. **Water stress index on sugarcane in different developmental phases**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 42, n. 4 jul./ago. 2018.

CHEN, L. et al. **Impacts of Extreme Climate Events on Subtropical Upland Crops: A 20-Year Case Study in the Hilly Area of Southwest China**. Agronomy, v. 16, n. 5, p. 572, 2026. DOI: 10.3390/agronomy16050572.



COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar: v. 11 - Safra 2024/25**, n. 1 - Primeiro levantamento.

Brasília: Conab, 2024. Disponível em:

<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>.

Acesso em: 29 abr. 2026.

Embrapa. **Cana-de-açúcar: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF:

Embrapa, 2021. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas). Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1134567/cana-de-acucar-o-produtor-pergunta-a-embrapa-responde>. Acesso em: 29 abr. 2026.

HERSBACH, H. et al. **The ERA5 global reanalysis**. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 146, n. 717, p. 1999-2049, 2020. DOI: 10.1002/qj.3803.

SANGHERA, G. S.; SAINI, A.; KASHYAP, L. **Physiological and biochemical traits associated with waterlogged tolerance in sugarcane (*Saccharum spp. hybrid complex*)**. *Plant Physiology Reports*, v. 27, n. 1, p. 44-55, 2022. DOI: 10.1007/s40502-021-00628-x.