

DINÂMICA FUTURA DA ÁGUA VERDE E AZUL NO CULTIVO DE SOJA EM GOIÁS SOB CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

José Bonifácio Martins Filho¹;

¹UNESP, Botucatu, São Paulo.

<https://lattes.cnpq.br/4819207696239648>

Lineu Neiva Rodrigues².

²EMBRAPA, Brasília, Distrito Federal.

<http://lattes.cnpq.br/6975132145446157>

RESUMO: Este estudo avaliou a dinâmica futura da água verde e da água azul no cultivo da soja em Goiás sob os cenários climáticos SSP2-4.5 e SSP5-8.5, para os períodos de 2040–2070 e 2070–2099. A demanda hídrica foi estimada com dados da Plataforma PROJETA (CPTEC/INPE), utilizando evapotranspiração de referência e precipitação do modelo HadGEM2-ES. As simulações contemplaram os 20 principais municípios produtores de soja do estado. Os resultados indicaram aumento da frequência de anos secos, intensificação dos extremos de precipitação e redução da contribuição da água verde, especialmente no cenário SSP5-8.5. Em consequência, observou-se maior participação da água azul na demanda hídrica da cultura, evidenciando maior dependência da irrigação. Os resultados reforçam a necessidade de estratégias de adaptação para o uso eficiente dos recursos hídricos e para a sustentabilidade da produção de soja em cenários futuros.

PALAVRAS-CHAVE: Água verde. Irrigação. Mudanças climáticas.

FUTURE DYNAMICS OF GREEN AND BLUE WATER IN SOYBEAN CULTIVATION IN GOIÁS UNDER CLIMATE CHANGE SCENARIOS

ABSTRACT: This study evaluated the future dynamics of green and blue water in soybean cultivation in Goiás, Brazil, under the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 climate scenarios for the periods 2040–2070 and 2070–2099. Crop water demand was estimated using data from the PROJETA Platform (CPTEC/INPE), based on reference evapotranspiration and precipitation simulated by the HadGEM2-ES model. Simulations were conducted for the 20 leading soybean-producing municipalities in the state. The results indicated an increase in the frequency of dry years, intensification of precipitation extremes, and a reduction in the contribution of green water, particularly under the SSP5-8.5 scenario. Consequently, the contribution of blue water to crop water demand increased, indicating a greater dependence on irrigation. These findings highlight the need for adaptation strategies to promote efficient water resource management and ensure the sustainability of soybean production under future climate conditions.

KEYWORDS: Green water. Irrigation. Climate change.

INTRODUÇÃO

Historicamente, o conceito de água verde e água azul foi proposto por Falkenmark (1995), durante a Conferência da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), sendo posteriormente ampliado e aplicado em diferentes áreas do conhecimento.

Na agricultura, a água verde corresponde à água da precipitação armazenada em solos não saturados e disponível para absorção pelas plantas, enquanto a água azul refere-se à água armazenada em rios, lagos e reservatórios, captada para irrigação (HOEKSTRA et al., 2011).

A quantificação desses componentes é essencial para o planejamento do uso dos recursos hídricos, permitindo identificar regiões com menor necessidade de irrigação e subsidiar estratégias para a agricultura de sequeiro (RODRIGUES et al., 2023). Diversos modelos têm sido empregados para estimar água verde e azul em diferentes escalas espaciais e temporais. Zhao et al. (2016), por exemplo, utilizaram o modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) para avaliar os efeitos das mudanças no uso da terra sobre a disponibilidade hídrica na Bacia do Rio Weihe, China, enquanto Surendran et al. (2015) aplicaram o FAO-CROPWAT para estimar o requerimento de água verde e azul em cultivos anuais no distrito de Palakkad, Índia.

Cerca de 80% da água utilizada na agricultura corresponde à água verde (CHIARELLI et al., 2020). Entretanto, em regiões tropicais, como o Cerrado, sua disponibilidade é limitada pela sazonalidade das chuvas, tornando a irrigação indispensável para garantir a segurança hídrica e alimentar.

No contexto das mudanças climáticas, projeta-se o aumento da frequência de eventos extremos, com impactos significativos sobre os sistemas agrícolas. Nesse cenário, torna-se fundamental avaliar projeções climáticas futuras para subsidiar estratégias de adaptação (MICHALAK, 2019). Como as previsões de longo prazo envolvem incertezas inerentes à complexidade do sistema climático, utilizam-se cenários projetados por modelos climáticos (ALMAGRO et al., 2020). Entre eles, destacam-se os Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (SSPs), que representam diferentes trajetórias de emissões de gases de efeito estufa (IPCC, 2021). Dentre os modelos disponíveis, o HadGEM2-ES destaca-se por sua ampla aplicação em estudos agrícolas (SRIVASTAVA et al., 2018).

OBJETIVO

O objetivo do presente estudo foi avaliar as alterações projetadas na disponibilidade de água verde e água azul para o cultivo da soja no estado de Goiás, considerando diferentes cenários climáticos futuros e suas implicações para o manejo dos recursos hídricos.

METODOLOGIA

Área de estudo

O estado de Goiás possui área de 340.242,856 km² (IBGE, 2021), com cerca de 98%

do território inserido no bioma Cerrado (RODRIGUES, 2023). Predomina o clima tropical com inverno seco (Aw), embora ocorram áreas classificadas como Am, Cwa e Cwb em algumas microrregiões (CARDOSO et al., 2014; NOVAIS, 2020).

Base de dados e estimativa da demanda hídrica futura da soja

As informações meteorológicas históricas empregadas neste estudo foram provenientes das bases de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET/BDMEP) (<https://bdmep.inmet.gov.br/>) e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), por meio da plataforma HidroWeb (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb-mobile/mapa>).

A demanda hídrica futura da soja foi estimada com dados climatológicos diários da Plataforma PROJETA (CPTEC/INPE) (<https://projeta.cptec.inpe.br/>), para os períodos de 2040–2070 e 2070–2099. Foram utilizados os dados de evapotranspiração de referência (ET_o), estimada pelo método de Penman-Monteith, e precipitação do modelo HadGEM2-ES, nos cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5. Os dados foram corrigidos por mapeamento quantil empírico, método que ajusta as distribuições de probabilidade das variáveis simuladas às observadas, reduzindo os vieses do modelo climático (CHOU et al., 2014a; CHOU et al., 2014b).

O SSP2-4.5 foi projetado para representar um cenário intermediário, no qual as emissões de gases de efeito estufa seguem uma dinâmica de estabilização, resultando em um forçamento radiativo de aproximadamente 4,5 W/m² até 2100. Esse cenário projeta uma elevação da temperatura global em torno de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, com variações estimadas limitadas a 2°C. Embora apresente riscos climáticos menos severos comparado a outros cenários, o SSP2-4.5 ainda implica mudanças climáticas significativas, incluindo eventos climáticos extremos e impactos na segurança alimentar (IPCC, 2021).

O cenário SSP5-8.5 reproduz condições caracterizadas pelo crescimento contínuo das emissões de gases de efeito estufa ao longo do século XXI, levando a um forçamento radiativo superior a 8,5 W/m² até 2100 e a um aquecimento global médio de 3,6°C acima dos níveis pré-industriais, com variações entre 2,8°C e 4,6°C. Esse cenário está altamente relacionado a impactos climáticos, incluindo eventos extremos mais frequentes e intensos, elevação acelerada do nível do mar, perda significativa da biodiversidade e riscos graves para a segurança alimentar e hídrica, além de desafios socioeconômicos decorrentes da degradação ambiental (IPCC, 2021).

A estimativa do requerimento hídrico (verde e azul) da soja foi realizada para os 10 principais municípios produtores de Goiás (Caiapônia, Niquelândia, Acreúna, Goiatuba, Santa Helena de Goiás, Padre Bernardo, Bom Jesus de Goiás, Luziânia, Piracanjuba, Campo Alegre de Goiás, Silvânia, Chapadão do Céu, Mineiros, Ipameri, Catalão, Montividiu, Paraúna, Cristalina, Jataí e Rio Verde). As simulações abrangeram o período de 1988 a 2022, utilizando dados do NASA Power corrigidos quanto ao viés e datas de semeadura em 15 de outubro e 10 de novembro, conforme o Calendário de Plantio e Colheita de Grãos da CONAB e as normas sanitárias vigentes do MAPA.

Índices de extremo de precipitação

Para avaliar o impacto das mudanças climáticas na variação da demanda hídrica total (DHT) e nas suas contribuições verde e azul, foram utilizados os índices de extremo de precipitação: CDD = Número máximo, durante o ciclo da cultura, de dias consecutivos com menos de 1mm; CWD= Número máximo, durante o ciclo da cultura, de dias consecutivos com mais de 1mm; R25mm= Número de dias durante o ciclo da cultura com mais de 25mm/dia; R50 = Número de dias, durante o ciclo da cultura, com mais de 50mm/dia; Rx1day = Precipitação máxima diária durante o ciclo da cultura; Rx5day = Precipitação máxima durante cinco dias consecutivos durante o ciclo da cultura.

Índice de anomalias de chuva

Para mensurar a ocorrência de evento extremos de chuva ou de seca, foi utilizado o índice de anomalias de chuva (IAC), com metodologia desenvolvido por Rooy (1965) para classificar as magnitudes de anomalias de precipitação positivas (equação 01) e negativas (equação 02):

$$IAC \text{ positivo} = 3 \left[\frac{(P - P_1)}{(P_{maxh} - P_1)} \right] \quad (01)$$

$$IAC \text{ negativo} = -3 \left[\frac{(P - P_1)}{(P_{minh} - P_1)} \right] \quad (02)$$

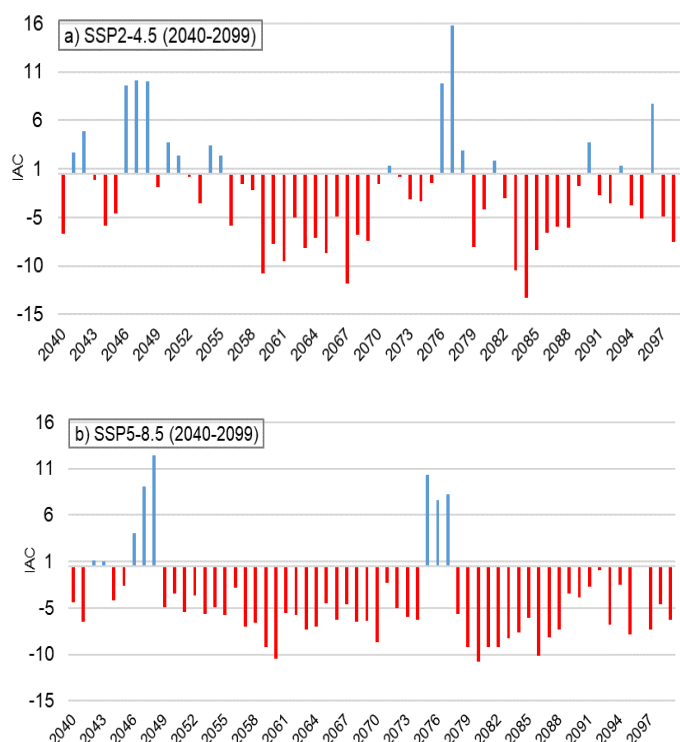
Em que: P = precipitação para ano em que foi gerado o IAC (mm); P_1 = precipitação média anual da série histórica (mm); P_{maxh} = a média das dez maiores chuvas anuais da série histórica (mm); e P_{minh} = média das dez menores chuvas anuais da série histórica (mm).

O IAC é classificado em diferentes categorias conforme os valores obtidos, permitindo uma avaliação quantitativa e qualitativa das condições pluviométricas. Quando o IAC apresenta valores superiores a 4, a condição é classificada como “Extremamente Chuvosa”. Para valores compreendidos entre 2 e 4, a classificação atribuída é “Muito Chuvosa”. No intervalo de 0 a 2, o IAC é categorizado como “Chuvoso”. Por outro lado, quando o índice se situa entre -2 e 0, a condição é definida como “Seca”. Valores entre -4 e -2 são classificados como “Muito Seco”, e, por fim, quando o IAC é inferior a -4, a condição é considerada “Extremamente Seca”. Essa estratificação permite uma análise detalhada e precisa das anomalias de precipitação, contribuindo para a compreensão dos padrões climáticos e suas variações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1 são apresentados os índices de anomalia de chuva (IAC) com base nos dados médios de precipitação dos 20 municípios com maior produção de soja em Goiás para os cenários SSP2-4.5, para período de 2040-2099 e cenário SSP5-8.5 para período 2040-2099.

Figura 1. Distribuição temporal dos IACs médio para os 20 municípios com maior produção de soja em Goiás para cenário SSP2-4.5, para período de 2040-2099, Figura (a), e cenário SSP5-8.5 para período 2040-2099, Figura (b).



Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise dos dados de IAC para o cenário SSP2-4.5 no período de 2040 a 2099 mostra uma predominância de anos classificados como secos e muito secos, evidenciando uma possível tendência de redução da precipitação natural ao longo do tempo. A distribuição das classificações revelou que 7 anos foram classificados como extremamente chuvosos, 5 anos como muito chuvosos, 5 anos como chuvosos, 9 anos como secos, 8 anos como muito secos e 26 anos como extremamente secos. Esses números demonstram uma predominância dos anos com condições secas, principalmente os classificados como extremamente secos, que representaram 43% dos anos analisados.

Os extremos positivos de precipitação foram registrados nos anos 2077 (IAC = 15,3) e 2046 (IAC = 9,1), seguidos de 2047 (IAC = 9,7) e 2076 (IAC = 9,3), que se destacam como os mais chuvosos do período. Já os extremos negativos, que representam os períodos mais secos, ocorreram nos anos 2084 (IAC = -12,8), 2067 (IAC = -11,3) e 2059 (IAC =

-10,3), seguidos de 2083 (IAC = -10,0). Esses valores indicam anos de severa estiagem, possivelmente impactando negativamente os recursos hídricos e a produtividade agrícola.

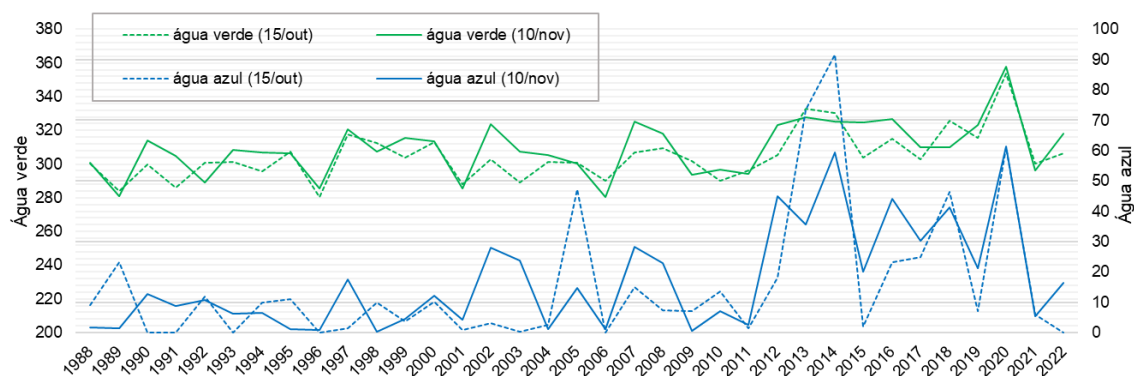
As projeções para o cenário SSP5-8.5 entre os anos de 2040 e 2099 indicaram uma tendência ainda mais acentuada de eventos extremos, particularmente em relação à seca. O número de anos classificados como Extremamente Seco foi de 39, tornando esta a categoria dominante. Os anos de 2060, 2080 e 2086 foram exemplos notáveis de condições extremamente secas, com IACs de -10; -10,2 e -9,7, respectivamente. A categoria Muito Seco ocorreu em 10 anos, enquanto Seco foi registrado em apenas 2 anos.

Por outro lado, anos classificados como Extremamente Chuvoso foram observados em 5 ocasiões (2047, 2048, 2075, 2076 e 2077), e a categoria Muito Chuvoso apareceu em apenas 1 ano (2046). O número reduzido de eventos chuvosos reflete uma tendência clara de redução na precipitação anual, indicando um possível agravamento dos eventos de seca prolongada sob o cenário de emissões mais elevadas (SSP5-8.5).

A comparação entre os dois cenários indicou que, embora ambos apresentem uma predominância de eventos secos, no cenário SSP5-8.5 acentua-se esse padrão, com uma frequência ainda maior de anos Extremamente Secos. Isso reforça a hipótese de que cenários de maior emissão de gases de efeito estufa potencializam as condições climáticas extremas, exigindo estratégias de adaptação mais eficazes para mitigar seus impactos na agricultura irrigada e na gestão recursos hídricos para os demais usuários..

Ao avaliar a dinâmica temporal da DHT e suas componentes, em termos médios, verificou-se que a possibilidade de maior contribuição da água verde para suprir a DHT ocorreu na semeadura de novembro (309 mm) em comparação com outubro (305 mm), enquanto a necessidade de água azul foi menor em novembro (15 mm) do que em outubro (17 mm). Esse comportamento sugere que a semeadura mais tardia tende a se beneficiar de uma maior disponibilidade hídrica natural, reduzindo, conseqüentemente, a necessidade de irrigação suplementar como é possível verificar na variação temporal média das contribuições hídricas azul e verde dos 20 municípios avaliados (Figura 2). Por outro lado, antecipar a semeadura da soja, traz benefícios em relação ao plantio da próxima safra, normalmente milho “safrinha. Nesse contexto, a irrigação agrega valor trazendo maior segurança.

Figura 2. Necessidades hídricas médias, para os vinte municípios, considerando as contribuições provenientes da água da chuva, (verde), e da irrigação (azul), para as semeaduras da soja em 15 de outubro, e 10 de novembro, com base nos dados do Nasa Power corrigidos, para o período de 1988-2022.



Fonte: Elaborado pelos autores.

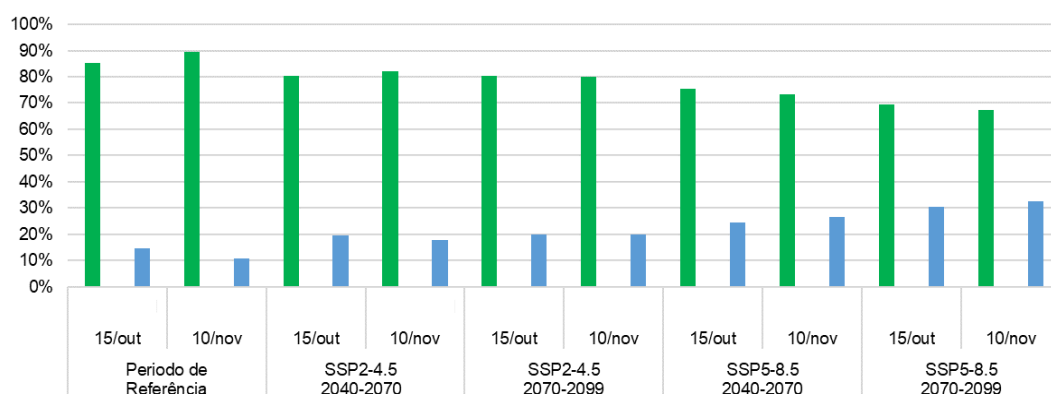
Ao avaliar a recorrência histórica dessas tendências, observa-se que em 68% do tempo (23 anos), a necessidade de complementar a DHT por meio da irrigação (**água azul**) foi menor em novembro do que em outubro, e em 74% dos anos, a água verde foi maior em novembro do que em outubro. Esses resultados reforçam a hipótese de que a semeadura tardia, além de aproveitar melhor as precipitações, reduz a dependência da irrigação, tornando-se uma alternativa potencialmente mais eficiente do ponto de vista hídrico.

Por exemplo, no ano de 2014, apesar da água verde ter sido ligeiramente menor em novembro (325 mm) do que em outubro (330 mm), a necessidade de irrigação foi menor para a semeadura tardia (59 mm contra 92 mm). Isso sugere que a distribuição da precipitação ao longo do ciclo da cultura possibilitou uma menor necessidade complementar a DHT por meio da água azul, mesmo quando a disponibilidade total de água verde foi reduzida.

Dessa forma, baseado na análise dos dados, constata-se que a escolha da data de semeadura é uma estratégia interessante a ser adotada pelos tomadores de decisão no que concerne ao uso de recursos hídricos na cultura da soja. A semeadura em novembro, na maioria dos anos analisados, mostrou-se mais eficiente no aproveitamento da água verde, reduzindo a necessidade de irrigação e, conseqüentemente, os custos associados ao uso de água azul. Esses resultados reforçam a importância do planejamento agrícola baseado em análises históricas do clima, contribuindo para um manejo mais sustentável dos recursos hídricos.

A água verde representa maior parte da DHT, contribuindo com 85% da DHT, na semeadura em outubro, e a 89%, em novembro ao considerar o período de referência. No entanto nos cenários futuros há uma tendência de redução dessa participação, especialmente no cenário mais crítico (SSP5-8.5), no qual a contribuição da água verde cai para 69 a 67% no final do século, aumentando conseqüentemente a dependência da água azul (Figura 3).

Figura 3. Contribuições hídricas médias (%) provenientes da chuva (verde) e da irrigação (azul), para as semeaduras da soja em 15 de outubro e 10 de novembro, com base nos dados do NP para o período de referência (de 1988 a 2022) e para os períodos de 2040-2070 e 2070-2099, nos cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Essas mudanças na composição da DHT podem estar relacionadas a ocorrência de extremos climáticos apresentados na Tabela 1. Observou-se um aumento do CDD nos cenários futuros, principalmente no cenário SSP5-8.5, indicando períodos secos mais prolongados. Somado a isso, há um aumento na intensidade das chuvas extremas (Rx1day e Rx5days), o que sugere eventos mais concentrados e menor infiltração de água no solo, reduzindo a disponibilidade de água verde para as culturas.

A redução do número de dias úmidos consecutivos (CWD) também indica uma menor regularidade das chuvas, o que pode comprometer a reposição hídrica do solo, impactando diretamente a água verde e elevando o requerimento de irrigação. Dessa forma, com a intensificação dos extremos climáticos, a dependência da água azul tende a crescer, elevando os desafios para a gestão de recursos hídricos na agricultura de Goiás.

Tabela 1. Índices médios de eventos extremos de precipitação, para os vinte municípios, para os períodos de semeaduras da soja em 15 de outubro e 10 de novembro, com base nos dados do NP para o período de referência (1988 a 2022) e para os períodos de 2040-2070 e 2070-2099, nos cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5.

	Data	CDD (dias)	CWD (dias)	R25mm (dias)	R50mm (dias)	Rx1day (mm)	Rx5days (mm)
Período de referência (1988-2022)	15/out	5,5	29,0	6,9	0,8	52,0	121,1
	10/nov	6,3	27,0	6,4	0,7	52,1	119,7
SSP2-4.5 (2040-2070)	15/out	14,5	26,5	7,3	1,1	55,7	135,0
	10/nov	11,7	27,7	8,4	1,3	57,2	140,8
SSP2-4.5 (2070-2099)	15/out	13,4	25,3	7,2	1,3	56,8	139,3
	10/nov	9,9	25,7	8,4	1,5	59,9	143,9
SSP5-8.5 (2040-2070)	15/out	17,3	25,6	6,8	1,1	55,5	134,7
	10/nov	13,5	26,8	8,0	1,3	57,3	140,0

SSP5-8.5 (2070-2099)	15/out	17,8	27,4	6,1	1,0	52,3	119,1
	10/nov	13,0	28,3	7,4	1,4	58,0	132,0

Analisando o cenário RCP4.5, para o período de 2070-2099, referente à data de semeadura em 15 de outubro, observa-se uma redução no CWD, passando de 27 dias no período de referência para 25,3 dias. Essa diminuição indica uma menor continuidade das precipitações, resultando em maior irregularidade na disponibilidade hídrica. Nesse contexto há um comprometimento do fornecimento de água verde no solo. Para a data de semeadura em 10 de novembro, no mesmo cenário, verifica-se um aumento no Rx1day, que passa de 52,0 mm no período referência para 59,9 mm, enquanto o índice de Rx5days cresce de 121,1 mm para 143,9 mm.

Essa maior concentração das chuvas em curtos intervalos temporais reduz a eficiência da infiltração no solo, favorecendo o escoamento superficial e limitando a possibilidade do aproveitamento da água verde, como observado no período de referência que apresenta índices de intensidade de chuva menos danosos. Esse padrão de distribuição pluviométrica menos uniforme pode impactar negativamente a disponibilidade hídrica para as culturas.

No cenário SSP5-8.5 (2040-2070) e semeadura realizada no dia 15 de outubro, o índice R25mm aumenta de 6,4 dias (período de referência) para 6,8 dias, enquanto o índice R50mm aumenta de 0,7 dias para 1,1 dias. Isso mostra uma redução de chuvas regulares e aumento de eventos extremos, prejudicando a recarga gradual da umidade no solo e elevando a necessidade de água azul.

No cenário SSP5-8.5 (2070–2099), para a semeadura em 15 de outubro, o CDD médio aumentou de 6,3 dias no período de referência para 17,8 dias, indicando estiagens mais prolongadas. Esse aumento reduz o armazenamento de água no solo e a recarga hídrica natural, diminuindo a disponibilidade de água verde para a soja.

Nesse mesmo cenário, a contribuição da água verde reduziu para 69% na semeadura de 15 de outubro e 67% em 10 de novembro. Diferentemente do período de referência, o adiamento da semeadura não aumentou a contribuição da precipitação, mas elevou a necessidade de irrigação. Esse comportamento pode estar relacionado ao aumento do Rx1day, que atingiu 58 mm em novembro, indicando chuvas mais concentradas, menor infiltração e menor armazenamento de água no solo. Como consequência, a participação da água azul aumentou para 31% em outubro e 33% em novembro, tornando a irrigação essencial para manter a produtividade.

A redução da água verde e o aumento da variabilidade climática evidenciam a necessidade de estratégias de manejo voltadas à retenção de água no solo e ao uso eficiente da irrigação, visando mitigar os impactos das mudanças climáticas. Apesar dos custos de implantação e manutenção, a irrigação é amplamente reconhecida como uma prática essencial. Siebert e Petra (2010) estimaram que a ausência de água azul provocaria perdas de produtividade de aproximadamente 39% para o arroz e 31% para a cana-de-açúcar.

Resultados semelhantes foram observados em outros estudos. Wen et al. (2024), utilizando o modelo HadGEM2-ES, projetaram aumento da ocorrência de secas em áreas agrícolas de Fujian, China, entre 2050 e 2080. De forma semelhante, Sondermann et al. (2022) identificaram tendência de redução de dias frios e aumento de dias secos consecutivos na bacia do Rio Doce, em Minas Gerais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os cenários climáticos projetados para os períodos de 2040-2070 e 2070-2099 indicam uma diminuição na contribuição da água verde para a demanda hídrica da soja em Goiás, especialmente sob o cenário SSP5-8.5, que prevê menores volumes de precipitação. Enquanto a água verde representa, em média, 85% da DHT no período de referência, essa proporção cai para cerca de 75-80% nos cenários futuros, aumentando a dependência da irrigação.

REFERÊNCIAS

- ALMAGRO, A.; OLIVEIRA, P. T. S.; ROSOLEM, R.; HAGEMANN, S.; NOBRE, C. A. Performance evaluation of Eta/HadGEM2-ES and Eta/MIROC5 precipitation simulations over Brazil. **Atmospheric Research**, v, 244, p, 105-115, 2020.
- CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, v.8, n.16, p.40-55, 2014.
- CHIARELLI, D.D.; PASSERA, C.; ROSA L.; DAVIS, K.F.; RULLI, M.C. The green and blue crop water requirement WATNEEDS model and its global gridded outputs. **Sci. Data**, n7, v1, p1-14, 2020.
- CHOU, S.C; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D. et al. and MARENGO, J. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 438-454, 2014a.
- CHOU, S.C; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; et al. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. **American Journal of Climate Change**, v.3, p. 512- 527, 2014b.
- FALKENMARK, M. 1995. **Coping with water scarcity under rapid population growth**. Conference of SADC Ministers, Pretoria.
- HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. **Manual de Avaliação da Pegada Hídrica**: Estabelecendo o Padrão Global. Londres: Earthscan, 2011.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Summary for Policymakers**. In: CLIMATE CHANGE 2021: THE PHYSICAL SCIENCE BASIS. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2021. p. 3-32. DOI: 10.1017/9781009157896.001.
- MICHALAK, D. Adapting to climate change and effective water management in Polish

agriculture - at the level of government institutions and farms. **Ecohydrol Hydrobiol** 20(1):134–141, 2019

RODRIGUES, L. N. **Agricultura irrigada no cerrado**: subsídios para o desenvolvimento sustentável – Brasília, DF: Embrapa, 2023.

ROOY, M. P. V. A Rainfall Anomaly Index independent of time and space. *Notos, De Bilt*, v. 14, n. 1, p. 43–48, 1965.

SIEBERT, S.; PETRA, D. Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. *Journal of Hydrology, Amsterdam*, v. 384, n. 3–4, p. 198–217, 2010.

SRIVASTAVA, P.K.; SINGH, P.; MALL, R.K.; RAJANI K. PRADHAN, M. B.; AKHILESH G. Performance assessment of evapotranspiration estimated from different data sources over agricultural landscape in Northern India. **Theor Appl Climatol**, v. 140, p.145–156, 2020.

SONDERMANN, M. et al, Climate change projections and impacts on the eucalyptus plantation around the Doce River basin, in Minas Gerais, Brazil. **Climate Services**, v, 28, p, 100327, 2022.

SURENDRAN, U.; SUSHANTH, C.M.; MAMMEN, G.; JOSEPH, E.J. Modelling the Crop Water Requirement Using FAO-CROPWAT and Assessment of Water Resources for Sustainable Water Resource Management: A Case Study in Palakkad District of Humid Tropical Kerala, India, *Aquatic Procedia*, v. 4, 2015, p. 1211-1219, <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.154>.

WEN, Y.; FEI, Y.; FAN, Y.; YANG, A.; WANG, B.; GAO, P. P.; SCOTT, D. Development of a probabilistic agricultural drought forecasting (PADF) framework under climate change. **Agricultural and Forest Meteorology**, v, 350, p, 109965, 2024.

ZHAO, A.; ZHU, X .; LIU, X.; PAN, Y.; ZUO, D.; Impacts of land use change and climate variability on green and blue water resources in the Weihe River Basin of northwest China, **CATENA**, n137, p. 318-327, 2016.