

MONITORAMENTO ORBITAL PARA AVALIAÇÃO DE TERRAÇOS COMO FERRAMENTA DE ENFRENTAMENTO DA CRISE HÍDRICA

Miguel Elias de Souza Santos¹, Elisa de Pinho Barroso Mesquita², Maderson Diego Rocha de Moura¹, Ícaro Tourino Alves¹, Jonathan da Rocha Miranda¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Avenida Primeiro de Junho, 1043, Centro – 39705-000 - São João Evangelista-MG, Brasil, miguel Elias011@gmail.com, madersonorges12@gmail.com, icaro.alves@ifmg.edu.br, jonathan.rocha@ifmg.edu.br.

²Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Guanhães, Travessa dos Leões, 140, Centro – 39740-000 – Guanhães-MG, Brasil, gestaoambiental@saaeguanhaes.com.br.

Resumo

Este estudo avaliou a eficácia dos terraços agrícolas na mitigação da crise hídrica em Guanhães, Minas Gerais, entre 2001 e 2024. Por meio da análise do Índice de Vegetação Aprimorado (EVI) e dados de precipitação do conjunto CHIRPS, compararam-se as condições antes (2001-2013) e após (2013-2024) a implantação dos terraços. Os resultados mostram uma melhoria significativa na cobertura vegetal (p-valor = 0,0016), indicando que os terraços contribuíram para aumentar a resiliência ecológica, mesmo frente à variabilidade climática. Por outro lado, a precipitação não apresentou mudança significativa (p-valor = 0,3229), sugerindo que as melhorias vegetativas são devidas principalmente às práticas de manejo do solo. Conclui-se que a adoção de terraços agrícolas é uma estratégia eficaz para promover a sustentabilidade hídrica e a resiliência dos ecossistemas, sendo crucial em regiões vulneráveis às mudanças climáticas e à escassez de recursos hídricos.

Palavras-chave: EVI, Conservação do solo, abastecimento de água.

Área do Conhecimento: Geociências

Introdução

A crise hídrica global é uma das questões ambientais mais urgentes da atualidade, afetando diretamente a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos, e colocando em risco a segurança hídrica e o abastecimento de água potável em diversas regiões do mundo. Esse fenômeno é amplificado por uma combinação complexa de fatores, como as mudanças climáticas, que alteram os padrões de precipitação e intensificam eventos extremos; o crescimento populacional e a urbanização descontrolada, que aumentam a demanda por água e contribuem para a impermeabilização do solo; além da poluição, do desmatamento e da má gestão dos recursos naturais, que comprometem a integridade dos mananciais e reduzem a capacidade dos ecossistemas de fornecer água de qualidade (UN-Water, 2020; IPCC, 2021).

Os impactos da crise hídrica são amplos e variam desde a escassez de água doce, que limita o fornecimento de água potável em regiões densamente povoadas, até a degradação da qualidade da água, que exige sistemas de tratamento mais complexos e onerosos para garantir a segurança do abastecimento. Em muitas localidades, a escassez já resultou em racionamento de água, interrupções no fornecimento e até conflitos pelo acesso aos recursos hídricos (Gleick, 2014).

Diante desses desafios, o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Guanhães tem implementado uma série de políticas e intervenções inovadoras voltadas para a gestão sustentável dos recursos hídricos. Uma das principais iniciativas é a construção de terraços em áreas estratégicas nas cabeceiras da barragem de abastecimento da cidade. Os terraços, que consistem na criação de degraus no terreno, têm como objetivo reduzir a erosão do solo, aumentar a infiltração da água da chuva e contribuir para a recarga dos aquíferos. Essas estruturas não apenas ajudam a preservar as pastagens e prevenir a degradação do solo, mas também desempenham um papel crucial na mitigação do escoamento superficial, reduzindo o risco de enchentes e a sedimentação nos corpos d'água, o que é essencial para manter a capacidade dos reservatórios (Shi *et al.*, 2021).

Para monitorar a efetividade dessas intervenções, o uso de tecnologias avançadas, como os dados de satélite, tem se mostrado uma ferramenta indispensável. O produto MOD13Q1, derivado do sensor

MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua, oferece dados detalhados sobre a vegetação, incluindo o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Aprimorado (EVI), com alta resolução temporal e espacial. Essas características tornam o MOD13Q1 uma ferramenta poderosa para o monitoramento contínuo e abrangente das mudanças ambientais, permitindo uma avaliação precisa das melhorias na cobertura vegetal e na conservação do solo em áreas onde os terraços foram implementados (Justice *et al.*, 2002).

O objetivo deste trabalho é avaliar a eficácia da implementação de terraços agrícolas em uma área específica na cabeceira da barragem de abastecimento de Guanhões, utilizando dados de satélite para monitorar a evolução da vegetação ao longo do tempo. Busca-se verificar se a construção dos terraços resultou em melhorias na cobertura vegetal, contribuindo para a conservação do solo, o aumento da infiltração de água e, conseqüentemente, a sustentabilidade do abastecimento hídrico na região.

Metodologia

A bacia do Graipu está localizada entre os municípios de Guanhões e Sabinópolis, na região centro-nordeste de Minas Gerais. É nessa bacia que se encontra o principal ponto de captação de água do SAAE, com coordenadas médias de 18,42° de latitude sul e 42,59° de longitude oeste e 772 m de altitude média, para abastecimento público da cidade.

Foram utilizados dois conjuntos de dados:

- EVI (MOD13Q1): Dados do Índice de Vegetação Aprimorado (EVI) derivados do produto MOD13Q1 do sensor MODIS, com resolução espacial de 250 metros e temporal de 16 dias, abrangendo o período de 2001 a 2024. Para atenuar sinais ruidosos nas séries temporais, foi aplicado o filtro Savitzky-Golay, assegurando o monitoramento da evolução da vegetação.
- Precipitação (CHIRPS): Dados de precipitação do conjunto CHIRPS, com resolução espacial de 0,05 graus (~5 km) e temporal diária, também cobrindo o período de 2001 a 2024.

Os dados foram divididos em dois períodos distintos: 2001-2013 (antes da implantação dos terraços) e 2013-2024 (após a implantação dos terraços). Esta divisão permite avaliar as mudanças na cobertura vegetal associadas à intervenção dos terraços, que foi realizada em 2013.

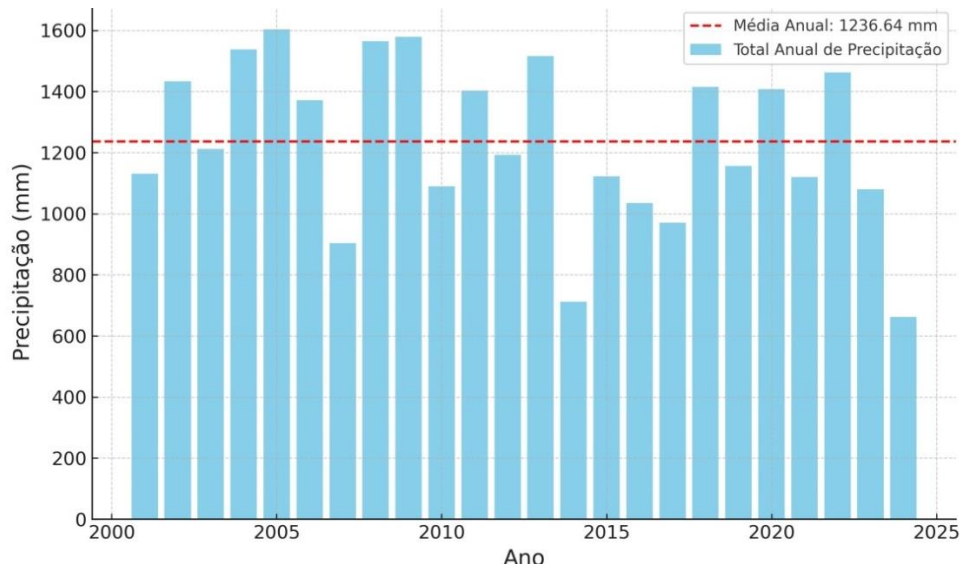
Para verificar a significância das mudanças na cobertura vegetal associadas à implantação dos terraços, foram realizados testes t de *Student* tanto para os dados de EVI quanto para os dados de precipitação. Essa abordagem dupla permitiu avaliar se as mudanças observadas na vegetação foram causadas pelos terraços ou se poderiam ser atribuídas a variações nos padrões de precipitação.

Ambos os testes foram conduzidos com um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). A interpretação dos resultados permitiu uma avaliação mais robusta dos efeitos dos terraços sobre a vegetação, isolando as variáveis ambientais que poderiam confundir a análise.

Resultados

Os dados de precipitação do CHIRPS de 1990 a 2023 mostram uma variação significativa na quantidade de chuvas ao longo dos anos, o que pode oferecer uma visão sobre o regime hídrico na região de Guanhões, Minas Gerais (Figura 1). A partir de 2015, nota-se uma tendência de períodos de menor precipitação, coincidindo com as informações do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Guanhões sobre a escassez hídrica enfrentada pela região.

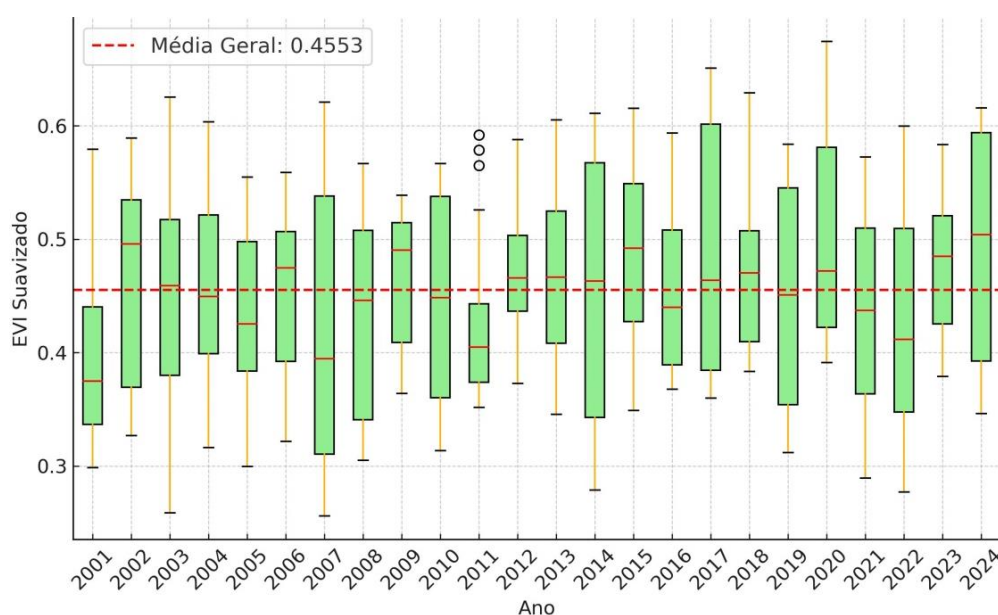
Figura 1. Precipitação anual CHIRPS de 2001 a 2024 para região de Guanhões MG



Fonte: Dos autores

Antes de 2013, observa-se uma tendência de menor variabilidade nos valores de EVI, com a maioria dos anos apresentando valores médios próximos ou ligeiramente abaixo da média geral (0,4553). Anos como 2002, 2004 e 2008 apresentam variações mais amplas, refletindo possíveis flutuações nas condições ambientais. Após a implantação dos terraços em 2013, há uma notável alteração na distribuição dos valores de EVI. A partir de 2014, muitos anos apresentam uma mediana de EVI superior à média geral, como em 2017, 2018 e 2020. Isso pode indicar uma melhora na cobertura vegetal em resposta à intervenção.

Figura 2. Boxplot do EVI ao longo dos anos 2001 a 2024 na área de terraço.



Fonte: Dos autores

A diferença significativa no EVI antes e após a implantação dos terraços sugere que as intervenções realizadas em 2013 tiveram um impacto positivo na cobertura vegetal (Tabela 1). A significância estatística do resultado (p -valor = 0,0016) reforça a hipótese de que as práticas de manejo do solo, como a construção de terraços, contribuíram para melhorar a saúde e a densidade da vegetação na área estudada.

Tabela 1. Análise estatística do teste t a 95% de confiança comparando antes e após a implantação do terraço

	EVI	CHIRPS
Teste t	-3,1814	0,9903
p valor	0,0016	0,3229

Fonte: Dos autores

Por outro lado, a ausência de uma diferença significativa na precipitação (CHIRPS) entre os dois períodos (p -valor = 0,3229) sugere que as melhorias observadas no EVI não podem ser atribuídas a variações nos padrões de precipitação. Isso fortalece a conclusão de que as mudanças na vegetação são decorrentes das intervenções de manejo do solo, e não de alterações climáticas ou aumento da precipitação (Figura 3).

Figura 3. Imagem Google Earth de 2013 (implantação do terraço) e 2023



Fonte: Dos autores

Discussão

A análise do Índice de Vegetação Aprimorado (EVI) revelou uma diferença significativa entre os períodos anterior (2001-2013) e posterior (2013-2024) à implantação dos terraços, com um p -valor de 0,0016. Este achado sugere que as melhorias observadas na vegetação não ocorreram por acaso, mas estão diretamente associadas à implementação dos terraços, o que está alinhado com a literatura existente, que destaca a eficácia dessas estruturas em reduzir a erosão, aumentar a infiltração de água e melhorar a retenção de umidade no solo (Shi *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2020).

Essas práticas são particularmente cruciais em regiões agrícolas e áreas de recarga de mananciais, onde a cobertura vegetal desempenha um papel essencial na proteção do solo e na manutenção dos recursos hídricos (Gebremichael *et al.*, 2005). A presença de uma cobertura vegetal densa, promovida pelos terraços, funciona como uma barreira natural contra a erosão, estabilizando o solo e facilitando a infiltração de água, o que é fundamental para a sustentabilidade hídrica a longo prazo (Li *et al.*, 2020).

Além disso, o aumento da variabilidade nos valores de EVI observado após 2013 sugere que os terraços não apenas elevaram a média da vegetação, mas também aumentaram a resiliência do sistema ecológico frente a pressões ambientais, como flutuações climáticas e estresse hídrico. Estudos indicam que intervenções de manejo do solo, como os terraços, são eficazes em aumentar a biomassa vegetal e em melhorar a capacidade das plantas de resistirem a eventos climáticos extremos (Wu *et*

al., 2022). A maior capacidade de retenção de água no solo proporcionada pelos terraços pode ser um fator chave na mitigação dos efeitos de períodos de seca, garantindo um crescimento vegetal mais estável e sustentável ao longo do tempo (Shi *et al.*, 2021).

Por outro lado, a análise dos dados de precipitação do conjunto CHIRPS não revelou diferença significativa entre os períodos pré e pós-implantação dos terraços, com um p-valor de 0,3229. Este resultado sugere que as melhorias na cobertura vegetal observadas no EVI não podem ser atribuídas a mudanças nos padrões de precipitação, reforçando a eficácia das práticas de manejo do solo como o principal fator responsável por essas melhorias. A literatura também apoia essa conclusão, indicando que, em regiões onde a precipitação é altamente variável, práticas de conservação do solo são essenciais para estabilizar o crescimento da vegetação e assegurar a sustentabilidade hídrica (Almeida *et al.*, 2019; Gebremichael *et al.*, 2005).

Conclusão

A análise dos dados de Índice de Vegetação Aprimorado (EVI) e de precipitação ao longo de duas décadas demonstrou que a implementação dos terraços resultou em melhorias significativas na cobertura vegetal, aumentando a resiliência ecológica diante de variações climáticas adversas. Apesar da ausência de uma mudança significativa nos padrões de precipitação, as melhorias observadas na vegetação indicam que as práticas de manejo do solo, especialmente a construção de terraços, desempenharam um papel central na promoção da sustentabilidade hídrica.

Referências

- ALMEIDA, A. Q.; SILVA, D. M.; ARAÚJO, R. M. Soil Conservation Practices as a Strategy to Combat Climate Change in Semi-Arid Regions. **Journal of Arid Environments**, v. 171, p. 104001, 2019. DOI:10.1016/j.jaridenv.2019.104001.
- GEBREMICHAEL, M.; OVER, T. M.; SHARIF, H. O. The effect of rainfall variability on vegetation dynamics: Evidence from the U.S. Great Plains. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. 24, 2005. DOI:10.1029/2005GL024383.
- GLEICK, P. H. Water, Drought, Climate Change, and Conflict in Syria. **Weather, Climate, and Society**, v. 6, n. 3, p. 331-340, 2014. DOI:10.1175/WCAS-D-13-00059.1.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. DOI:10.1017/9781009157896.
- JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R.; HOLBEN, B. N.; TUCKER, C. J. Analysis of the Phenology of Global Vegetation Using Meteorological Satellite Data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 4, n. 8, p. 897-921, 2002. DOI:10.1080/01431168408948878.
- LI, P.; QIAN, H.; WU, J.; ZHANG, Y. Terracing impacts on soil erosion and conservation: A global synthesis of a century of research. **Earth-Science Reviews**, v. 204, p. 103-123, 2020. DOI:10.1016/j.earscirev.2020.103123.
- SHI, Z.; YAN, M.; LI, Q.; XU, L.; WEN, A. Effectiveness of Terrace Construction on Reducing Soil Erosion and Improving Vegetation Recovery in the Loess Plateau, China. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 2, p. 681-693, 2021. DOI:10.1002/ldr.3711.
- TESHOME, A.; DE GRAAFF, J.; RITSEMA, C.; KASSIE, M. Farmers' perceptions about the influence of land quality, land fragmentation and tenure systems on sustainable land management in the north western Ethiopian highlands. **Land Degradation & Development**, v. 25, n. 1, p. 71-79, 2013. DOI:10.1002/ldr.1133.

UN-WATER. The United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change. UNESCO, 2020. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2020>. Acesso em: 1 set. 2024.

WANG, T.; WANG, X.; XU, H. Climate change impacts on regional precipitation and vegetation dynamics in China. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 122, n. 15, p. 8015-8030, 2017. DOI:10.1002/2017JD027234.