

EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA E FLUXO DE CARBONO NA SUB-BACIA DO RIO SALGADO

JOSÉ NILTON DE ARAÚJO JUNIOR¹, CARLOS WAGNER OLIVEIRA², ANTONIO GEBSON PINHEIRO¹, CÁSSIA MARIA CARNEIRO MENDONÇA¹, SIRLEIDE MARIA DE MENEZES^{3*}

¹ Discentes de Agronomia, Universidade Federal do Cariri (CCAB/UFCA), R. Ícaro de Sousa Moreira, 126, Bairro Muriti, Crato-CE, ORCID: 0009-0008-3672-9430, nilton.junior@aluno.ufca.edu.br; ORCID: 0000-0002-5912-6906, gebson10@hotmail.com, ORCID: 0009-0002-2169-6150, mendonca.cassia@aluno.ufca.edu.br.

² Docente do curso de Agronomia, Universidade Federal do Cariri (CCAB/UFCA), R. Ícaro de Sousa Moreira, 126. Bairro Muriti, Crato-CE, ORCI: 0000-0003-1013-2974, carlos.oliveira@ufca.edu.br.

³ Pós-Doutoranda, PRODER, Universidade Federal do Cariri, UFCA, R. Ícaro de Sousa Moreira, 126. Bairro Muriti, Crato-CE, ORCID: 0000-0003-1225-5572, sirleidemeneses@hotmail.com (Autor correspondente).

RESUMO: Regiões Áridas e Semiáridas são caracterizadas pelo déficit hídrico, condicionando diretamente as características das vegetações ao longo do ano. Todavia, perturbações ambientais podem ocorrer por ações antrópicas, onde são provocadas modificações das vegetações naturais por outras para fins agropecuários. Esse comportamento afeta a disponibilidade hídrica e a Eficiência no Uso da Água (EUA). A EUA é uma variável que possibilita mensurar o rendimento da água em um ecossistema. O presente trabalho objetivou compreender o fluxo da água e carbono ao longo dos anos na sub-bacia do rio Salgado, proporcionando uma visão de como o uso e ocupação do solo influencia na eficiência no uso da água. A área de estudo foi a sub-bacia do rio Salgado, composta por 23 municípios, estando localizada na região sul do estado do Ceará. O trabalho foi realizado, através da análise de imagens de satélite dos projetos MapBiomas e MOD16A3GF v061, para obter EUA média de cada ano no período de 2002 à 2022. Com isso, constatou-se que o maior e menor EUA da sub-bacia são as legendas Formação Campestre e Lavouras Perenes, respectivamente. Com base nesse estudo, pode-se concluir que o fluxo da água e carbono está diretamente relacionado com a exposição da cobertura do solo e o conteúdo de biomassa verde.

Palavras-chave: Uso e Ocupação do Solo, QGIS, Geoprocessamento.

WATER USE EFFICIENCY AND CARBON FLUX IN THE SALGADO RIVER SUB-BASIN

ABSTRACT: Arid and semiarid regions are characterized by water deficit, which directly affects the characteristics of vegetation throughout the year. However, environmental disturbances can occur due to human actions, where modifications of natural vegetation are caused by others for agricultural purposes. This behavior affects water availability and water use efficiency (WUE). WUE is a variable that makes it possible to measure the water yield in an ecosystem. This study aimed to understand the flow of water and carbon over the years in the Salgado River subbasin, providing insight into how land use and occupation influence water use efficiency. The study area was the Salgado River subbasin, which is composed of 23 municipalities located in the southern region of the state of Ceará. The work was carried out through the analysis of satellite images from the MapBiomas and MOD16A3GF v061 projects to obtain the average US for each year in the period from 2002–2022. The largest and smallest USs of the subbasin are the Campestre Formation and Perennial Crops legends, respectively. On the basis of this study, the flow of water and carbon is directly related to the exposure of the soil cover and the green biomass content.

Keywords: Land Use and Occupation, QGIS, Geoprocessing.

1 INTRODUÇÃO

Ambientes com elevados déficits hídricos, comuns em locais áridos e semiáridos, são caracterizados por baixa pluviosidade e elevada demanda evapotranspirométrica, proveniente de mudanças climáticas e aceleradas por ações antrópicas. Nessas condições é criado uma situação propicia a eventos de seca e degradação vegetal e do solo, interferindo diretamente na capacidade de resiliência do ecossistema. Além das mudanças climáticas, alterações no uso e cobertura do solo podem ocasionar perdas na biodiversidade e nos recursos naturais (Jardim *et al.*, 2022).

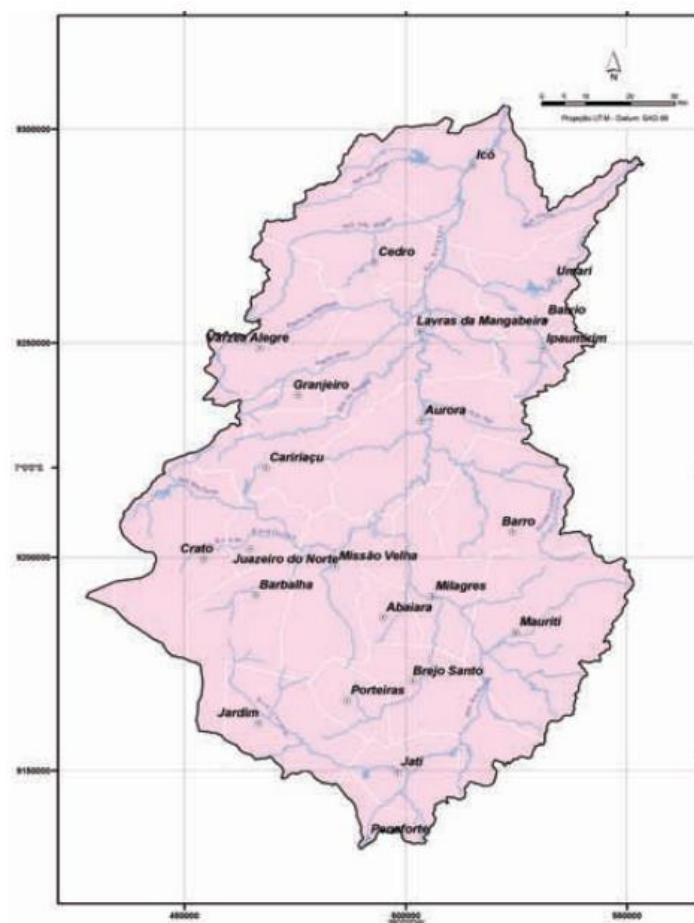
Para melhor entendimento e compreensão do comportamento de ambientes em condições climáticas desfavoráveis, é essencial à investigação dos fluxos de água e carbono. Esse estudo permite identificar os padrões de vegetação e os impactos das atividades antrópicas (Oliveira *et al.*, 2022).

Nesse sentido, a eficiência no uso da água (EUA) possibilita mensurar o rendimento da água em um ecossistema, o que em regiões áridas e semiáridas é um fator de grande importância, sendo a água um recurso limitado nesse ambiente, tornando-se assim crucial a realização de estudos nessa área de pesquisa (Zhao, 2021). Com o presente estudo, objetivou-se compreender o fluxo da água e carbono ao longo dos anos na sub-bacia do rio Salgado, proporcionando uma visão de como o uso e ocupação do solo influencia na eficiência do uso da água.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na sub-bacia do rio Salgado, afluente da Bacia do rio Jaguaribe, localizada a sudeste do estado do Ceará (Figura 1).

Figura 1. Localização da sub-bacia hidrográfica do rio Salgado com destaque para os reservatórios monitorados



Fonte: Santana (2018).

Essa bacia contém uma área de drenagem de 12.865 km², o qual corresponde a 8,25% do território do estado do Ceará. Essa sub-bacia ocupa grande parte da região sul do estado, a qual é formada por 23 municípios: Abaiara, Aurora, Baixio, Barbalha, Barro, Brejo Santo, Caririaçu, Cedro, Crato, Granjeiro, Icó, Ipaumirim, Jardim, Jati, Juazeiro do Norte, Lavras da Mangabeira, Mauriti, Milagres, Missão Velha, Penaforte, Porteiras Umari e Várzea Alegre (Santana, 2018).

A eficiência no uso da água (EUA) pode ser definida de forma simples, como “a quantidade de água evaporada para cada g de carbono m⁻² para NPP” (Kuglitsch *et al.*, 2008), essa definição é muito eficiente na análise do padrão de uso da água para determinada área, possibilitando a compreensão do ciclo da água, auxiliando na gestão hídrica de determinado ecossistema (Kumar *et al.*, 2023). Para cálculo do EUA é utilizada a equação 1.

$$EUA = \frac{NPP}{AET} \quad (1)$$

Em que: EUA - Eficiência no Uso da Água, NPP - Produção Primária Líquida e AET - Evapotranspiração real.

Os dados de NPP e AET foram obtidos de forma gratuita através do produto MOD16A3GF v061, baixados através do site <https://appears.earthdatacloud.nasa.gov>, para o período de 2002 a 2022. Tanto a NPP quanto a AET estão presentes em formato de imagens .TIFF e sistema de projeção EPSG:4326 - WGS 84 latitude e longitude, com organização composta, sendo produção primária bruta e líquida, e evapotranspiração real e potencial.

Para realizar o cálculo do EUA, é necessário que as imagens .TIFF passe por uma conversão previa, transformando os valores

que estão em escala para valores reais, utilizando um fator de escala, como representa a equação 2.

$$Valor\ real = Dados\ válidos \times Fator\ de\ escala \quad (2)$$

Em que: O fator de escala é diferente para NPP e AET, sendo 0,0001 e 0,1 respectivamente.

Todos os cálculos feitos com imagens foram realizados no software gratuito QGIS v 3.30.3. A conversão das imagens e o cálculo da EUA foram realizados com a ferramenta calculadora raster presente no Qgis.

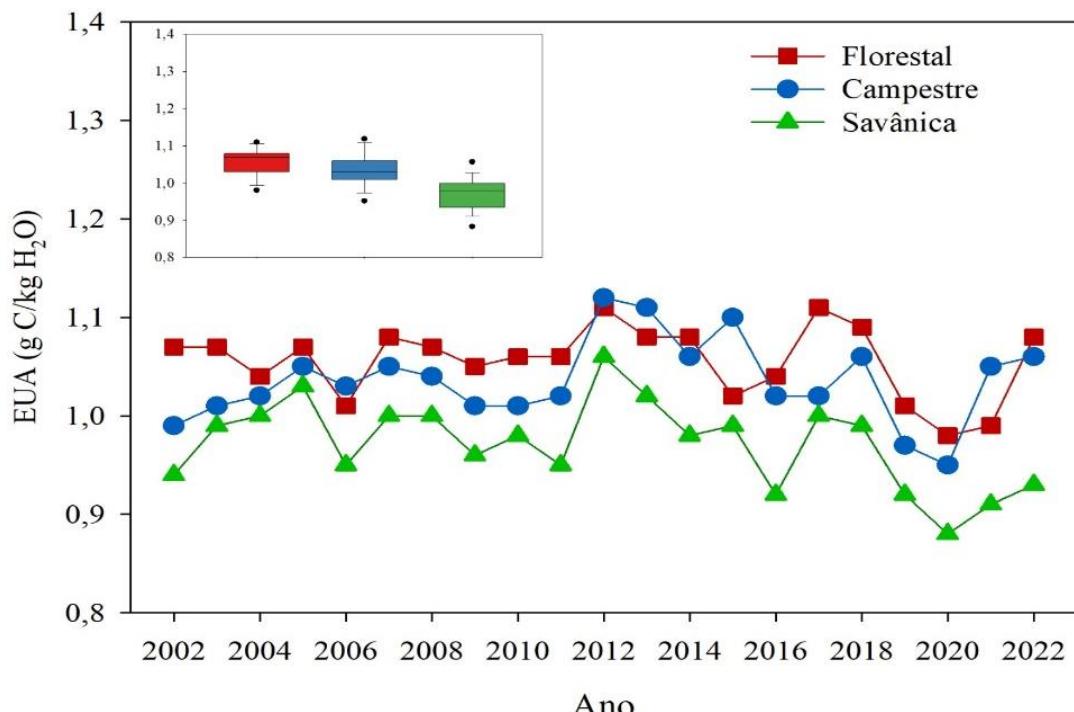
O uso e ocupação da área de estudo foi obtido através de imagens em formatos TIFF, disponíveis no programa MapBiomas (2024), presentes no site <https://brasil.mapbiomas.org/>, sendo feito o download dos anos de 2002 a 2022. Essas imagens vêm com seus pixels classificados em classes pelo programa MapBiomas, onde cada classe representa um tipo de uso.

A análise da EUA em relação ao uso e ocupação do solo foi feito através do software Qgis, com a ferramenta Estatísticas zonais da camada raster, a qual realiza como principal dado para essa pesquisa a média da EUA para cada uso que as imagens de uso e ocupação apresentam. Com esse processo foram obtidos dados de 21 anos para cada uso e ocupação do solo da área de estudo. A organização dos dados pelo software Microsoft Excel e a confecção dos gráficos pelo software SigmaPlot 14.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor compreensão dos dados obtidos, foi realizado o agrupamento dos dados divididos em dois títulos, sendo eles: vegetação e atividade agropecuária. Na Figura 2 estão representadas as legendas ligadas a formação vegetal.

Figura 2. Representação da EUA (Eficiência no Uso da Água) para o período de 2002 a 2022 em relação aos seguintes usos do solo: Formações Florestal, Formações Campestre e Formações Savânicas.

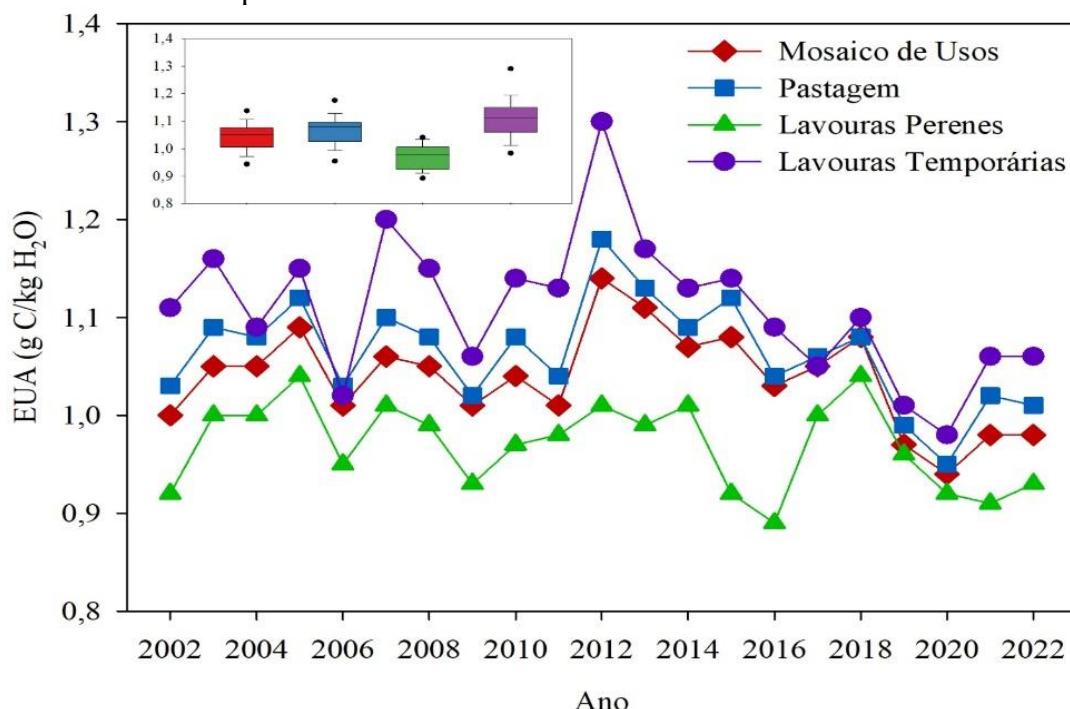


Fonte: Autor

Conforme a Figura 2, pode-se observar que a Formação Campestre teve maior EUA em praticamente todo período analisado, com média de 1,03 g C/Kg H₂O e desvio padrão de 0,006. Já a Formação Savânicas apresentou os menores valores de EUA, com variação entre valores máximos de 1,01 g C/Kg H₂O e mínimos de 0,87 g C/Kg H₂O, com média de 0,97 e desvio padrão equivalente a 0,004. Wang, Wang e Li (2024) ressaltam que a EUA está associada diretamente a fotossíntese e condutância estomática das plantas. Todavia, a Formação Florestal manteve-se com caráter mediano, apresentando valores de EUA entre as demais formações vegetais.

A Figura 3 representa a EUA das atividades agropecuárias, a partir do exposto foi possível observar que a legenda com Lavouras Temporárias teve destaque em relação as demais, apresentando o melhor uso eficiente da água, com média de aproximadamente 1,10 g C/Kg H₂O. Com caráter intermediário e semelhante entre-se, as legendas Pastagens e Mosaico de Usos, se mantiveram sempre entre as legendas com maior e menor valor, além de terem seus valores de EUA muito próximos em quase todo o período. Dentre as diferentes condições analisadas, a legenda com Lavouras Perenes teve menores valores de EUA em todos o período, com média 0,97 g C/Kg H₂O.

Figura 3. Representação da EUA (Eficiência no Uso da Água) para o período de 2002 a 2022 em relação aos seguintes usos do solo: Mosaico de usos, Pastagem, Lavouras Perenes e Lavouras Temporárias.



Fonte: Autor

A legenda Lavouras Temporárias apresentou os maiores valores de EUA ao longo do período, com valor máximo no ano de 2012 (1,29 g C/Kg H₂O). Esse comportamento se dá por conta que as Lavouras Temporárias serem constituídas por culturas como milho e feijão, as quais são produzidas com maior intensificação sempre procurando altas produções. A temperatura é o principal fator determinante para a EUA arbustiva, enquanto a precipitação influencia principalmente a EUA de pastagens, terras agrícolas e florestas (Zhang *et al.*, 2016).

Com relação a legenda que teve a menor EUA, a legenda Lavouras Perenes foi a que teve menores valores dentre todas as condições estudadas, tendo como provável explicação a menor produção, onde a produção de lavouras perenes (*e.g.* limão e banana) sempre buscam a maior produção voltada para os frutos e não para produção de biomassa, e outro fator é a questão de que os pomares têm um maior espaçamento entre plantas em comparação às Lavouras temporárias, apresentando assim uma biomassa menor. Comportamento similar ao constatado por Nandy, Saranya e Srinet (2022),

onde verificaram os menores valores de EUA para condições de pastagens.

4 CONCLUSÕES

O fluxo da água e carbono acontece com maior intensidade nas áreas com formação Campestre, onde há a maior cobertura do solo pela vegetação herbácea e arbustiva. Em condições com maiores exposições do solo ocasionaram as menores eficiências no uso da água.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade (CCAB) da Universidade Federal do Cariri (UFCA) pela logística para realização do trabalho, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo seu apoio financeiro aos bolsistas participantes desta pesquisa e ao PROJETO: Edital n.162022, PDPG – Pós-doutorado Estratégico.

6 REFERÊNCIAS

JARDIM, A. M.; MORAIS, J. E. F.; SOUZA, L. S. B.; SILVA, T. G. F. Understanding interactive processes: a review of CO₂ flux, evapotranspiration, and energy partitioning under stressful conditions in dry forest and agricultural environments. **Environ Monit Assess**, Nova York, v. 194, n. 10, p. 194 - 677 2022.

KUGLITSCH, F. G.; REICHSTEIN, M.; BEER, C.; CARRARA, A.; CEULEMANS.; GRANIER, A.; JANSSENS, I. A.; KOESTNER, B.; LINDROTH, A.; LOUSTAU, D.; MATTEUCCI, G.; MONTAGNANI, L.; MOORS, E. J.; PAPALE, D.; PILEGAARD, K.; RAMBAL, S.; REBMANN, C.; SCHULZE, E. D.; SEUFERT, G.; VERBEECK, H.; VESALA, T.; AUBINET, M.; BERNHOFER, C.; FOKEN, T.; GRÜNWALD, T.; HEINESCH, B.; KUTSCH, W.; LAURILA, T.; LONGDOZ, B.; MIGLIETTA, F.; SANZ, M. J.; VALENTINI, R. Characterisation of ecosystem water-use efficiency of european forests from eddy covariance measurements. **Biogeosciences Discussions**, Munique, v. 5, n. 6, p. 4481-4519, 2008.

KUMAR, S.; KUMAR, R.; KUMAR, M.; RANJAN, R.; SINGH, V.; MISHRA, A.; KUMAR, A.; JOSHI, P. K.; JAIN, V.; GUPTA, K.; BORA, M.; SHARMA, N.; GUPTA, M.; SHARMA, P. Spatio-temporal variability of evapotranspiration, water use efficiency and net primary productivity in the semi-arid region of the Aravalli and Siwalik ranges, India. **Environment, Development and Sustainability**, Berlim, v. 25, p. 1-22, 2023.

MAPBIOMAS. Coleções Mapbiomas. [S. l.]: MapBiombras Brasil, 2024. Disponível em: https://storage.googleapis.com/mapbiomaspublic/initiatives/brasil/collection_9/lclu/coverage/brasil_coverage_2002.tif. Acesso em: 7 jul. 2024.

NANDY, S.; SARANYA, M.; SRINET, R. Spatio-temporal variability of water use efficiency and its drivers in major forest formations in India. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdã, v. 269, article 112791, p. 1-14, 2022.

OLIVEIRA, M. L.; SANTOS, C. A.; OLIVEIRA, G.; COSTA, R.; MARTINS, P.; ALMEIDA, J.; SILVA, E.; CARVALHO, F.; SOUZA, L.; TEIXEIRA, T. Remote sensing-based assessment of land degradation and drought impacts over terrestrial ecosystems in Northeastern Brazil. **Science of The Total Environment**, Amsterdã, v. 835, article 155490, p. 1-13, 2022.

SANTANA, W. W. (coord.) **Caderno Regional da Sub-Bacia do Salgado**. Fortaleza: Inesp, 2018. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/09/Bacia-do-Salgado.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2024.

WANG, L.; WANG, J.; LI, X. Long-term variations in ecosystem water use efficiency in the Tibetan Plateau: Vegetation types, attribution methods and main drivers. **Ecological Indicators**, Amsterdã, v. 166, article 112492, p. 1-17, 2024.

ZHANG, T.; PENG, J.; LIANG, W.; YANG, Y.; LIU, Y. Spatial-temporal patterns of water use efficiency and climate controls in China's Loess Plateau during 2000–2010. **Science of The Total Environment**, Riverside, v. 565, p. 105-122, 2016.

ZHAO, J.; FENG, H.; XU, T.; XIAO, J.; GUERRIERI, R.; LIU, S.; WU, X.; HE, X.; HE, X. Physiological and environmental control on ecosystem water use efficiency in response to drought across the northern hemisphere. **Science of The Total Environment**, Riverside, v. 758, article 143599, p. 1-11, 2021.