UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
CURSO DE GEOGRAFIA BACHARELADO

LUCAS DE MORAIS TEIXEIRA

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL EM ALAGOAS USANDO SENSORIAMENTO REMOTO

Maceió
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
CURSO DE GEOGRAFIA BACHARELADO

LUCAS DE MORAIS TEIXEIRA

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL EM ALAGOAS USANDO SENSORIAMENTO REMOTO

Relatório de pesquisa apresentado ao Colegiado do Curso de Geografia Bacharelado do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para obtenção da nota final do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

Orientador: Prof. Dr. Jório Bezerra Cabral Júnior
Coorientador: Prof. Dr. Helder José Farias da Silva

Maceió
2023

Catalogação na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

T266v Teixeira, Lucas de Morais.

Variabilidade espaço-temportal da evapotranspiração real em Alagoas usando sensoriamento remoto / Lucas de Morais Teixeira. – 2023.

28 f. : il. : color.

Orientador: Jório Bezerra Cabral Júnior.

Coorientador: Helder José Farias da Silva.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Geografia: Bacharelado) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 24-28.

1. Recursos hídricos. 2. Evapotranspiração. 3. Cobertura do solo. I. Título.

CDU: 911.2:551(813.5)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
CURSO DE GEOGRAFIA BACHARELADO

LUCAS DE MORAIS TEIXEIRA

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL EM ALAGOAS USANDO SENSORIAMENTO REMOTO

Relatório de pesquisa apresentado ao Colegiado do Curso de Geografia Bacharelado do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para obtenção da nota final do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

Orientador: Prof. Dr. Jório Bezerra Cabral Júnior
Coorientador: Prof. Dr. Helder José Farias da Silva

TCC defendido e aprovado em 01/03/2023.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br JORIO BEZERRA CABRAL JUNIOR
Data: 06/03/2023 16:05:50-0300
Verifique em https://verificador.iti.br

Orientador: Prof. Dr. Jório Bezerra Cabral Júnior
(Presidente – IGDEMA/UFAL)

Documento assinado digitalmente
gov.br HELDER JOSE FARIAS DA SILVA
Data: 05/03/2023 09:28:20-0300
Verifique em https://verificador.iti.br

Coorientador: Prof. Dr. Helder José Farias da Silva
(ICAT/UFAL)

Documento assinado digitalmente
gov.br ANA PAULA LOPES DA SILVA
Data: 06/03/2023 17:00:04-0300
Verifique em https://verificador.iti.br

Examinadora Interna: Profa. Dra. Ana Paula Lopes da Silva
(IGDEMA/UFAL)

Documento assinado digitalmente
gov.br FABRICIO DANIEL DOS SANTOS SILVA
Data: 05/03/2023 20:43:58-0300
Verifique em https://verificador.iti.br

Examinador Externo: Prof. Dr. Fabrício Daniel dos Santos Silva
(ICAT/UFAL)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e sabedoria dada a mim para seguir em frente diante de todas as dificuldades encontradas, aos meus pais Edvaldo Teixeira Silva e Josiane de Morais Teixeira por priorizarem a educação dando-me todo o apoio, sendo possível chegar onde hoje estou, a minha irmã Larissa de Morais Teixeira por ser minha maior inspiração e admiração acadêmica, a minha companheira Sarah Morganna Amorim da Silva por todos os momentos de afago dado quando mais precisava.

Ao Prof. Dr. Jório Bezerra Cabral Júnior pela orientação, no TCC e nos demais projetos ao longo de minha jornada acadêmica contribuindo para minha formação. Ao Prof. Dr. Helder José Farias da Silva, pela coorientação e ensinamentos sobre a área ambiental e o geoprocessamento.

Aos colegas do grupo de pesquisa Climatologia Teórica e Aplicada (CTA) e do Laboratório de Estudos Climáticos (LAEC), pelo conhecimento compartilhado sendo possível evoluirmos juntos.

Ao Centro de Estudos Astronômicos de Alagoas (CEAAL) por me motivar a buscar a ciência, especialmente meu colega David Duarte Cavalcante Pinto por me apresentar a Climatologia.

A coordenação e aos colegas da Usina Ciência por esses anos de aprendizado e de divulgação cientifica para o estado de Alagoas.

Ao Núcleo de Monitoramento de Informações Ambientais do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis de Alagoas (NMI/IBAMA-AL) pela oportunidade de estágio e pelo conhecimento adquirido, o qual tornou-me consciente da importância da preservação ambiental.

A Universidade Federal de Alagoas (UFAL); Ao Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA), especialmente para aqueles que me ensinaram um outro olhar para a ciência geográfica, sendo mais do que professores: educadores para a vida.

Aos meus colegas de sala Ramon Alves de Santana e Valdomiro Makson Costa Jardim pela amizade e conhecimento compartilhado contribuindo para minha jornada acadêmica.

E para todos aqueles que contribuíram diante do desenvolvimento dessa pesquisa.

O inventor, como a natureza de Lineu, não faz saltos, progride de manso, evolui.
(Santos Dumont).

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL EM ALAGOAS USANDO SENSORIAMENTO REMOTO

Autor: Lucas de Morais Teixeira
e-mail: lucasmorais321@gmail.com

Orientador: Jório Bezerra Cabral Júnior
e-mail: jorio.cabral@gmail.com

Coorientador: Helder José Farias da Silva
e-mail: helderlagoia@gmail.com

A Evapotranspiração é a perda de água para a atmosfera resultante do somatório da evaporação da água mais a transpiração vegetal (superfície vegetada), podendo ser um indicador de deficiência hídrica no solo, especialmente em região tropical. O estado de Alagoas, mesmo sendo o terceiro menor do Brasil, possui dois tipos climáticos (tropical e semiárido) que reverbera em uma desigual distribuição de umidade no solo, em diferentes tipos de vegetação, solos, entre outros. O objetivo principal nessa pesquisa é caracterizar a variabilidade espacial e temporal da Evapotranspiração Real (ETr) para o estado de Alagoas. Para isso, utilizaram-se dados mensais de 2001 a 2020 através do Produto MOD16 que fornece dados da ETr em todo globo terrestre. As estatísticas descritivas (média, valores mínimos e máximos, coeficiente de variação) foram realizadas para caracterizar a variabilidade espacial e anualmente da ETr no estado de Alagoas em duas situações distintas: um mês do período chuvoso (julho), outro do período seco (dezembro) e anualmente. Em seguida os dados de ETr foram comparados com o tipo de cobertura do solo, através de dados do MapBiomas Brasil. As variabilidades da ETr (nos períodos chuvoso e seco) também foram comparadas com a variabilidade da precipitação (2001 a 2020) para dois locais com disponibilidade de dados: um inserido no Semiárido (Água Branca) e outro na Zona da Mata (Maceió), ambos em Alagoas, com dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). No período chuvoso, observou-se que, em média, a ETr é de 99,3 mm/mês/ano registrando-se um valor mínimo e máximo de 35,0 e 181,2 mm, respectivamente. No período seco obtém os menores valores da ETr, que em média representam 50,3 mm/mês/ano e com um mínimo de 13,5 mm/mês/ano e máximo de 227,4 mm/mês/ano. O acumulado anual da ETr, apresenta uma média de 827,9 mm/ano com valores mínimo e máximo, respectivamente, de 182,6 a 2225,9 mm /ano. No mês do período chuvoso, Maceió registrou a maior precipitação no ano de 2017 (645,8 mm/mês), no qual contribuiu para o alto valor da ETr (115,90 mm/mês). Em Água Branca, para o período chuvoso, destacou-se o ano de 2006 com um dos maiores quantitativos de precipitação mensal (308,6 mm/mês), que culminou na ocorrência de ETr acima da média (135,1 mm/mês). Para o período seco, Maceió nos dois primeiros anos da série (2001 e 2002) apresentou precipitações de 115,9 mm/mês e 3 mm/mês, respectivamente, e observa-se que o valor da ETr também diminuiu, com valores respectivos de 60,7 mm/mês e 32,6 mm/mês. Observou-se ainda que áreas modificadas por ações antrópicas obtiveram expansão no estado de Alagoas, e, em contrapartida houve uma redução, nessas áreas, de disponibilidade hídrica para evapotranspirar. A maior mudança se apresenta no bioma da caatinga com um aumento das áreas antropizadas, principalmente pelo avanço da bacia leiteira. Conclui-se que a ETr além de ser um importante componente do ciclo hidrológico, pode ser também um importante indicador de disponibilidade hídrica e de cobertura vegetal. Essas investigações serão aprofundadas em estudos futuros.

Palavras chaves: recurso hídrico; evaporação e transpiração; cobertura do solo.

ABSTRACT

Evapotranspiration is the loss of water to the atmosphere resulting from the sum of water evaporation plus plant transpiration (vegetated surface), and can be an indicator of water deficiency in the soil, especially in tropical regions. The state of Alagoas, even being the third smallest in Brazil, has two climatic types (tropical and semi-arid) which reverberates in an unequal distribution of soil moisture in different types of vegetation, soils, among others. The main objective of this research is to characterize the spatial and temporal variability of the Real Evapotranspiration (ETr) for the state of Alagoas. For this, monthly data were used from 2001 to 2020 through the MOD16 Product that provides ETr data across the globe. The descriptive statistics (mean, minimum and maximum values, coefficient of variation) were performed to characterize the spatial and annual variability of ETr in the state of Alagoas in two distinct situations: one month of the rainy period (July), another of the dry period (December) and annually. Then the ETr data were compared with the type of land cover, using data from MapBiomas Brasil. The ETr variability (in the wet and dry periods) was also compared with the variability of precipitation (2001 to 2020) for two sites with data availability: one inserted in the semi-arid region (Água Branca) and the other in the Zona da Mata (Maceió), both in Alagoas, with data provided by the National Institute of Meteorology (INMET). In the rainy period, it was observed that, on average, the ETr is 99.3 mm/month/year registering a minimum and maximum value of 35.0 and 181.2 mm, respectively. In the dry period the lowest ETr values are obtained, averaging 50.3 mm/month/year, with a minimum of 13.5 mm/month/year and a maximum of 227.4 mm/month/year. The annual accumulated ETr, presents an average of 827.9 mm/year with minimum and maximum values, respectively, from 182.6 to 2225.9 mm/year. In the rainy season month, Maceió recorded the highest precipitation in the year 2017 (645.8 mm/month), which contributed to the high value of ETr (115.90 mm/month). In Água Branca, for the rainy season, the year 2006 stood out with one of the highest monthly precipitation amounts (308.6 mm/month), which culminated in the occurrence of ETr above the average (135.1 mm/month). For the dry period, Maceió in the first two years of the series (2001 and 2002) showed precipitation of 115.9 mm/month and 3 mm/month, respectively, and it is observed that the ETr value also decreased, with respective values of 60.7 mm/month and 32.6 mm/month. It was also observed that areas modified by anthropic actions have expanded in the state of Alagoas, and, on the other hand, there was a reduction, in these areas, of water availability for evapotranspiration. The biggest change is presented in the caatinga biome with an increase of anthropized areas, mainly by the advance of the dairy basin. It is concluded that ETr, besides being an important component of the hydrological cycle, can also be an important indicator of water availability and vegetation cover. These investigations will be deepened in future studies.

Key words: water resource; evaporation and transpiration; land cover.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 8
2 MATERIAL E MÉTODOS..... 10
2.1 ÁREA DE ESTUDO..... 10
2.2 DADOS..... 10
2.2.1 Imagens da Evapotranspiração Real..... 10
2.2.2 Imagens da cobertura vegetal MapBiomas..... 11
2.2.3 Dados de estações meteorológicas..... 11
3 METODOLOGIA..... 13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 15
5 CONCLUSÕES..... 23
6 REFERÊNCIAS..... 24

1 INTRODUÇÃO

A Evapotranspiração (ETr) é a perda de água para a atmosfera resultante do somatório da evaporação da água mais a transpiração vegetal (superfície vegetada), desempenhando um importante parâmetro para caracterização do ciclo hidrológico, estudos agrícolas e ambientais, por retornar até 60% de toda a precipitação terrestre para a atmosfera (PEREIRA et al., 2007; SILVA, 2018; SILVA, 2019). A intensificação do processo da ETr afeta a superfície em seus diferentes ecossistemas, uma vez que pode aumentar o déficit de água no solo e consequentemente impactar reduzindo as reservas hídricas e/ou a biomassa.

Os biomas brasileiros vêm enfrentando nas últimas décadas fortes pressões antrópicas com impactos significativos no meio ambiente, fluxos de energia e biogeoquímica (ROY; AVISSAR 2002; D'ALMEIDA et al., 2007; COSTA et al., 2022). Por exemplo, no bioma Amazônico, estudos indicam que a ET de áreas desmatadas podem diminuir até 28% no período seco e aumentar 4% no período chuvoso (SILVA et al., 2019). Na caatinga, entre os meses de máximas e mínimas da ETr, a pastagem apresentou valores inferiores comparados a florestas, cuja ETr na área desmatada foi 10% inferior à área com a vegetação de caatinga (QUEIROZ, 2018). Na mata atlântica, há uma significativa variabilidade da magnitude dos valores de precipitação devido à dinâmica da distribuição da sua vegetação, observado que somente 12,4% da área original continua preservada (ÁVILA, 2014; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2022). Em 2000, aproximadamente 55% dos biomas da Terra haviam sido convertidos em pastagens, terras de cultivo, assentamentos e outros usos (SALAZAR et al., 2016).

A região do Nordeste Brasileiro (NEB) é uma das áreas do país com a maior vulnerabilidade à degradação ambiental, um ambiente com grandes áreas tropicais e semiáridas, submetido a uma forte pressão demográfica (SILVA; PACHECO, 2014). Medeiros (2019) aponta a dependência do bioma da caatinga para as atividades de subsistência, somado ao clima seco e com degradação do solo que impõem à baixa qualidade de vida a sociedade, sendo uma das principais causas o manejo inadequado dos recursos naturais. Esses impactos estão predominantemente associados às atividades antropogênicas, seja para fins de implementação da agricultura, pecuárias e/ou para o processo de urbanização sem o planejamento adequado (SKIDMORE et al., 2021; CABRAL JÚNIOR et al., 2022), e estão alcançando níveis recordes recentes (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2021).

O semiárido brasileiro é uma região com limitada disponibilidade de recursos hídricos, em virtude do regime pluviométrico irregular, com chuvas mal distribuídas nas escalas

temporal-espacial tornando o gerenciamento da água na agricultura de extrema importância, uma vez que a questão hídrica no semiárido brasileiro tem forte influência no desenvolvimento social e agropecuário dessa região (LINS et al., 2021). Alguns modelos hidrológicos podem ser bem-sucedidos em regiões úmidas, ao contrário de regiões semiáridas, uma vez que o sensoriamento remoto facilitou o estudo do solo e a caracterização da diversidade, mas ainda é difícil adotar modelos distribuídos (CIRILO, 2020).

Estudos relacionados ao bioma Caatinga e a interferência da pluviosidade em ambientes secos indicaram que em áreas desmatadas a disponibilidade de água para atmosfera foram menores quando comparadas a áreas florestadas, utilizando técnicas do sensoriamento remoto como o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), podendo ser correlacionada com a presença de cobertura vegetal com a pluviosidade de um local indicando algum grau de seca (BARBOSA; KUMAR, 2016; SALVATIERRA et al., 2017; JARDIM et al., 2022).

Diante do apresentado, o objetivo do trabalho é caracterizar as variabilidades da ETr utilizando sensoriamento remoto, nos períodos chuvoso e seco, relacionar a precipitação com a ETr, e identificar o comportamento da ETr em áreas naturais e antrópicas do estado de Alagoas.

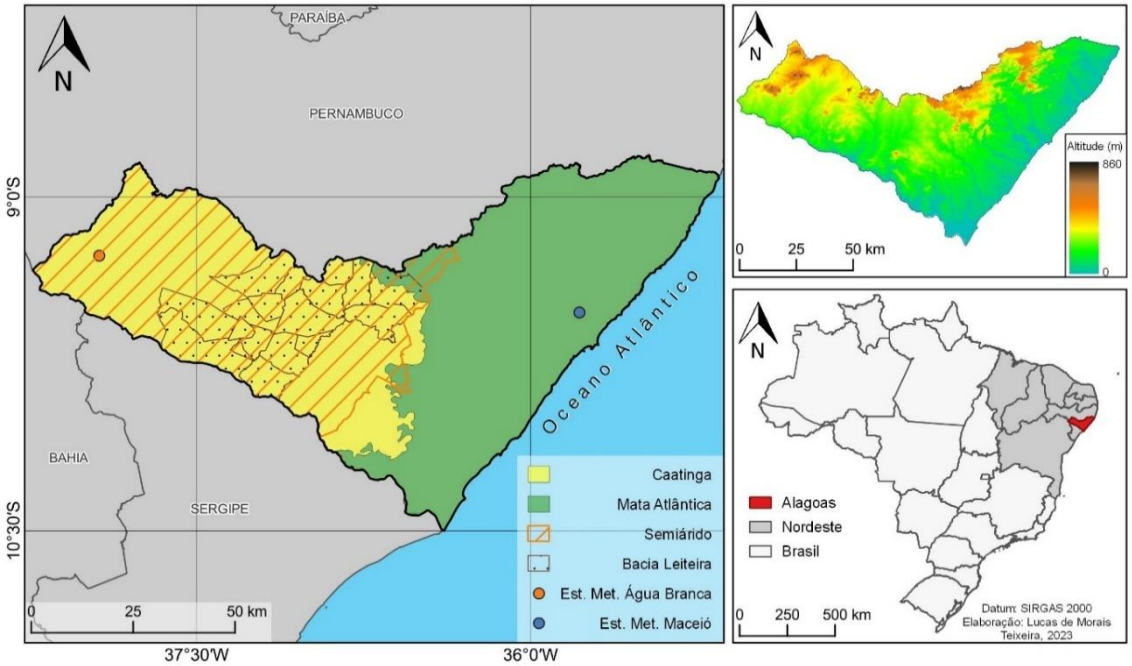
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estado de Alagoas, localizado na região do NEB (Figura 1), apresenta uma área de 27.830 km² (IBGE, 2021). Apresenta dois biomas: Mata atlântica com área de 14.615 km² (52,5% do estado) e caatinga com a área de 13.215 km² (47,5%). Alagoas destaca-se com a menor parcela do território definida como o semiárido (45,4%) com uma área de 12.639 km² (SUDENE, 2017; IBGE, 2019).

De acordo com a classificação de Köppen, o estado apresenta o tipo climático Tropical Chuvoso (A) e Semiárido (B) a leste e oeste, respectivamente (ALVARES et al., 2013). Regiões mais ao oeste apresenta temperaturas superiores a 28°C no verão e média anual de 26,3°C, e regiões com maiores altitudes apresentam menores temperaturas predominantemente ao norte do estado – na divisa de Pernambuco – nas margens do Planalto da Borborema (MONTEIRO; CÔRREA, 2020; SANTOS et al., 2023).

Figura 1 – Mapa de localização do estado de Alagoas, com destaque as delimitações dos biomas, semiárido, bacia leiteira e sua altimetria



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

2.2 DADOS

2.2.1 Imagens da Evapotranspiração Real

Para os dados de ETr foi utilizado dados do Produto de Evapotranspiração Global - MOD16 (MU et al., 2011). Este produto fornece a ETr e potencial dentre outros parâmetros baseando-se na lógica da equação de Penman-Montheith com grade regular de 500 metros. O

algoritmo é descrito em detalhes por Mu et al. (2011), que disponibiliza dados com resolução de 500 metros de evapotranspiração (real e potencial) além do fluxo de calor latente (real e potencial), com acumulados para o intervalo de 8 dias, em escalas mensal e anual.

Mu et al. (2011), através do *Eddy Covariance* ou o método de covariância de vórtices turbulentos, usou dados de torres meteorológicas da rede *AmeriFlux* onde foram testados os algoritmos antigos e aprimorados para evapotranspiração. Os resultados de 46 locais em todo o continente americano, especialmente na América do Norte, mostraram comportamentos semelhantes entre as estimativas pelo método padrão e pelo sensoriamento remoto (SILVA, 2022). Este produto tem sido avaliado em diversas parte do mundo mostrando resultados satisfatórios quando comparados com medidas de campo com variações de até 30% nos resultados finais (LOARIE et al., 2011; RUHOFF et al., 2012; RAMOELO et al., 2014; HU et al., 2015).

2.2.2 Imagens da cobertura vegetal – MapBiomas

O MapBiomas Brasil é uma rede colaborativa que revela as transformações do território brasileiro, tornando acessível o conhecimento sobre o uso da terra, a fim de buscar a conservação e combater as mudanças climáticas (MAPBIOMAS, 2022). Houve reconstrução da cobertura do solo, ao longo de três décadas no Brasil, a partir do geoprocessamento de imagens do *Landsat* e com ferramentas do *Google Earth Engine* pela equipe da rede MapBiomas (SOUZA et al., 2020). Os produtos do MapBiomas estão divididos em coleções, atualmente está em uso a coleção 7 que possui 27 classes de legenda cobrindo o período de 1985 – 2021. Utilizou-se a imagem do MapBiomas do ano de 2001, cujo ano se iniciou as atividades do MODIS, e de 2020, tornando-se o último ano da série neste trabalho. Os dados são disponibilizados no formato matricial (pixel de 30x30m) de forma gratuita por meio do endereço eletrônico https://mapbiomas.org/.

2.2.3 Dados de estações meteorológicas

Os dados de precipitação observada foram oriundos das estações convencionais pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) disponível por meio do Banco de Dados Meteorológicos de Ensino e Pesquisa (BDMEP). Serão acessados por meio do portal: https://bdmep.inmet.gov.br/#. Foram escolhidas duas localidades, sendo Água Branca representando o regime de chuva do bioma caatinga e Maceió para o bioma mata atlântica. O período escolhido compreende 2001-2020 de dados mensais.

Não havia dados de precipitação no banco de informações do INMET, mas isso não prejudicou as análises dessa pesquisa. Esses anos foram: 2007 e 2008, na estação meteorológica de Maceió, no período chuvoso, e somente em 2007, no período seco, já em Água Branca, nos anos de 2010, no período chuvoso, e 2019 e 2020, no período seco.

3 METODOLOGIA

Para verificação dos impactos da mudança de cobertura do solo nos processos de precipitação e ETr para o estado de Alagoas. O período de estudo compreendeu os anos 2001 a 2020, que é o período comum para todas as fontes de dados. Alagoas apresenta duas estações bem definidas uma chuvosa (março a julho) e outra menos chuvosa (agosto a fevereiro) com máximo em junho e o mínimo em dezembro (MOLION; BERNARDO, 2002; LYRA et al., 2014; COSTA et al., 2018; ROCHA JUNIOR et al., 2021). Para esta pesquisa foi escolhido o mês de julho e de dezembro para representar a estação chuvosa e a seca, respectivamente. Na sequência, determinou-se as estatísticas descritivas comparativas em conjunto com a construção de tabelas e mapas espacializados.

De acordo com o MapBiomas os tipos de coberta de superfície são especificados como: Superfícies Naturais (SN) e Superfícies Antrópicas (SA). As SN compreendem as superfícies de formação florestal, savânica, mangue, restinga dentre outras formações, enquanto as SA são especificadas como pastagem, áreas de culturas agrícolas, silviculturas dentre outras formações antrópicas. Corpos Hídricos, como rios, lagos e oceanos, e dados não observados, como áreas bloqueadas por nuvens ou ruído atmosférico ou com ausência de observação, foram classificados como Outras. Devido os produtos de sensoriamento remoto não estarem em uma grade comum, foi necessário reamostrar os dados do MapBiomas, de forma a compatibilizar com a resolução espacial do produto MOD16. O método do vizinho mais próximo (HENGL; HEUVELINK; ROSSITER, 2007) foi utilizado, de forma que todos os dados foram trabalhados em uma grade comum de 5 km de resolução espacial. Apenas os pixels identificados como SN e SA, de acordo com o MapBiomas, foram considerados nas análises, enquanto os demais pixels foram desconsiderados. Posteriormente, foi aplicado o teste não paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney (WMW) para médias, adotando-se nível de significância de 5%, em que a hipótese nula (H0) é que os valores das médias entre os grupos (SN e SA) são iguais (SEARLE et al., 1992). Este teste foi escolhido porque não considera a estrutura dos dados (normalidade) (BUSSAB; MORETTIN, 1987).

Para quantificar o Efeito Relativo – ER das mudanças de cobertura do solo nesses componentes hidrológicos, foram calculadas as diferenças absolutas entre SN e SA e, divididas pelas estimadas das SN (Equação 1). O ER consiste na quantificação, dada em porcentagem, do impacto da mudança de uso do solo nas áreas naturais. Nesta pesquisa o valor positivo indica que a ETr aumenta quando se muda de SN para SA e o sinal negativo o oposto. Calculou-se:

$$ER = 100\left(\frac{SA-SN}{SN}\right) \quad (1)$$

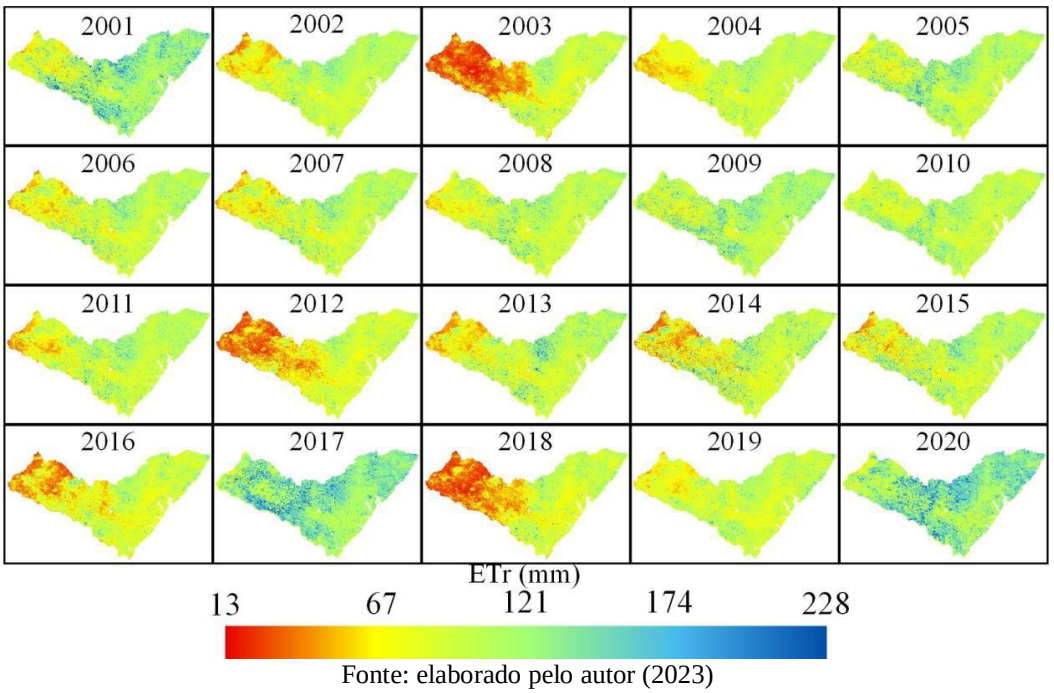
em que, ER corresponde ao efeito relativo médio dado em porcentagem, SA denota os valores médios dos parâmetros das regiões de superfícies antrópicas e SN denota os valores médios dos parâmetros das regiões de superfície naturais. Vale ressaltar que os cálculos foram realizados considerando a média de todos os pontos para cada tipo de superfície.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição espacial e anual da ETr em um mês chuvoso (julho) e outro seco (dezembro) estão apresentadas nas Figuras 2 e 3, respectivamente, para todo o estado de Alagoas. Nas duas condições citadas (período chuvoso ou seco) observa-se uma variabilidade no tempo e no espaço, destacando-se que no mês mais chuvoso os valores de ETr tendem a ser maiores (Figura 2) comparando-se aos valores da ETr no período seco (Figura 3). É importante ressaltar que os valores de ETr são influenciados conjuntamente pela demanda de energia da atmosfera e pela disponibilidade de água em superfície. Essas duas configurações juntas reverberam, em média, em quantitativos de evapotranspiração mais elevados.

No mês que coincide com o período chuvoso em Alagoas, observou-se que, em média, a ETr é de 99,3 mm/mês/ano registrando-se um valor mínimo e máximo de 35,0 e 181,2 mm, respectivamente. Destaca-se que nos anos de 2003, 2012 e 2018 ocorreram, em média, os menores valores de ETr da série histórica, especialmente sobre a porção oeste do estado (Sertão alagoano) cujos valores predominaram abaixo dos 30 mm/mês/ano. Por outro lado, verificou-se que os anos de 2001, 2017 e 2020 apresentaram maiores valores de ETr com maior frequência acima de 80 mm/mês/ano. A principal influência na oscilação desses valores está mais associada a quantidade e distribuição da precipitação, que apresenta maior irregularidade espaço-temporal no território alagoano (LYRA et al., 2014), em seguida, a demanda por água da atmosfera em função da disponibilidade de energia (CABRAL JÚNIOR; BEZERRA, 2018; SILVA et al., 2021; SILVA et al., 2023).

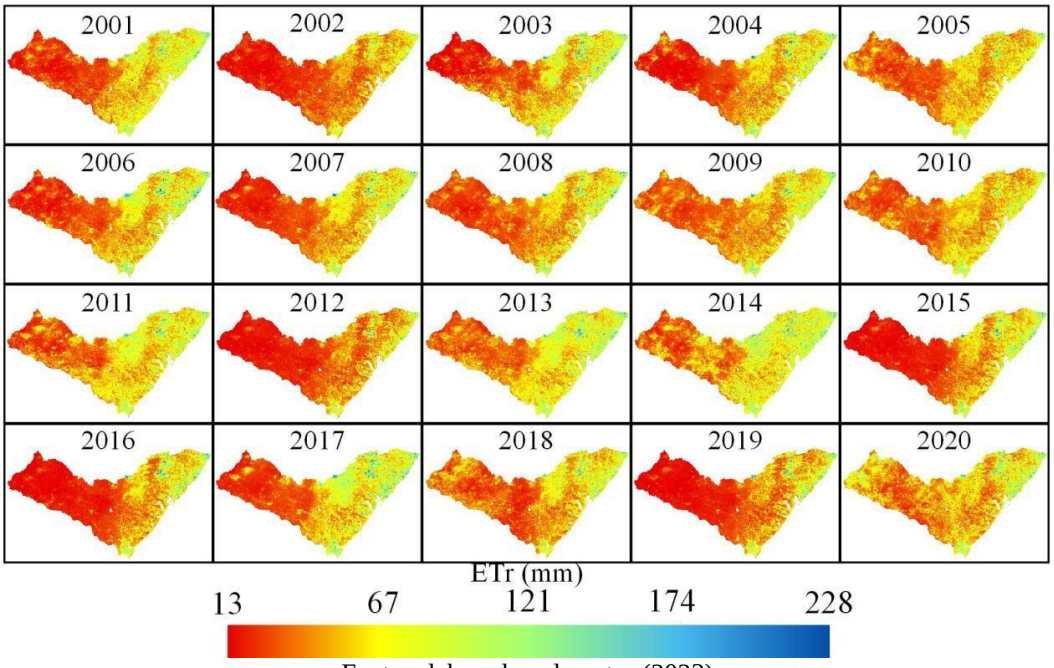
Figura 2 – Variação interanual da Evapotranspiração Real (ETr) para o período chuvoso (julho), Alagoas, 2001 a 2020.



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Em contrapartida, a ETr, no mês de dezembro (período seco) obtém os menores valores, que em média representam 50,3 mm/mês/ano e com um mínimo de 13,5 mm/mês/ano. Embora constatou-se que o valor máximo ocorreu nesse período, com de 227,4 mm/mês/ano. Excepcionalmente isso foi observado na região leste do estado (região mais úmida) e não representa a totalidade, uma vez que cerca de 70% do território de Alagoas apresenta, nessa época, um quantitativo de ETr, em média, inferior a 40 mm/mês/ano, principalmente na região oeste do estado, onde se encontra o bioma caatinga (Figura 1) no período de maior escassez de precipitação (LYRA et al., 2014), ou seja, época em que há um maior déficit de água no solo e consequentemente menor quantidade de biomassa (PEDREIRA JUNIOR et al., 2020) que culmina em menor perda de água para a atmosfera.

Figura 3 – Variação interanual da Evapotranspiração Real (ETr) para o período seco (dezembro), Alagoas, 2001 a 2020.



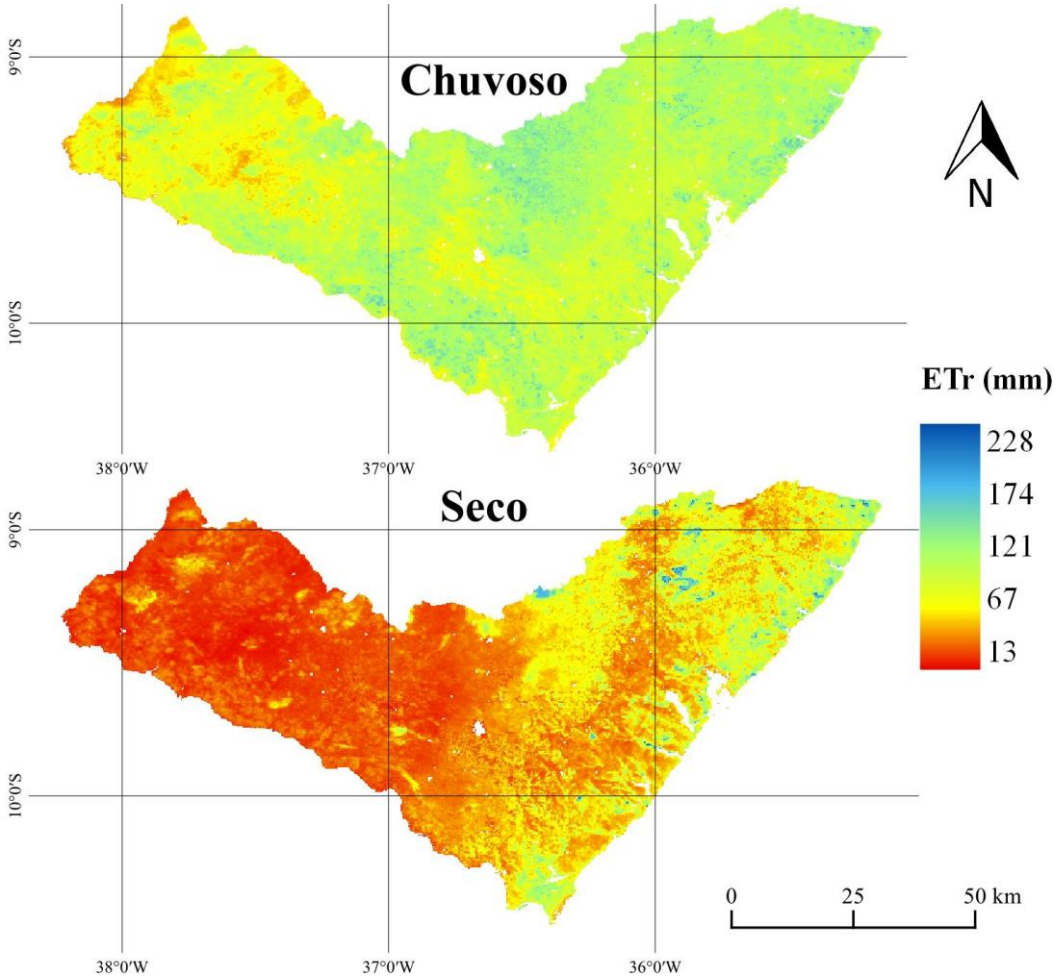
Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Observa-se na Figura 4 a variabilidade média da ETr para os períodos chuvoso e seco. São marcantes as diferenças médias entre a ETr nos distintos períodos (chuvoso e seco), assim como também podem ser observadas diferenças entre as regiões leste e oeste de Alagoas. No período seco, por exemplo, registram-se as maiores variações de ETr no espaço, cujo Coeficiente de Variação (CV) foi de 51,1% enquanto que para o período chuvoso o CV foi de 19,2% (Tabela 1).

Esses quantitativos e variações já eram esperados, uma vez que o período chuvoso propicia mais umidade ao solo e consequentemente favorece às maiores perdas de água para a atmosfera, o oposto ocorre no período seco. Destaca-se aqui que as variabilidades são maiores no período seco em função de que a distribuição da precipitação é bastante irregular e a porção

oeste do estado (semiárido), nesse período, obtém valores médios de chuva muito próximos de 0 mm. Sendo assim, a deficiência hídrica nessa área se eleva e a ETr consideravelmente diminui, o que não acontece com a mesma intensidade na região úmida (leste), sendo assim, as maiores amplitudes ocorrem no período seco (Tabela 1).

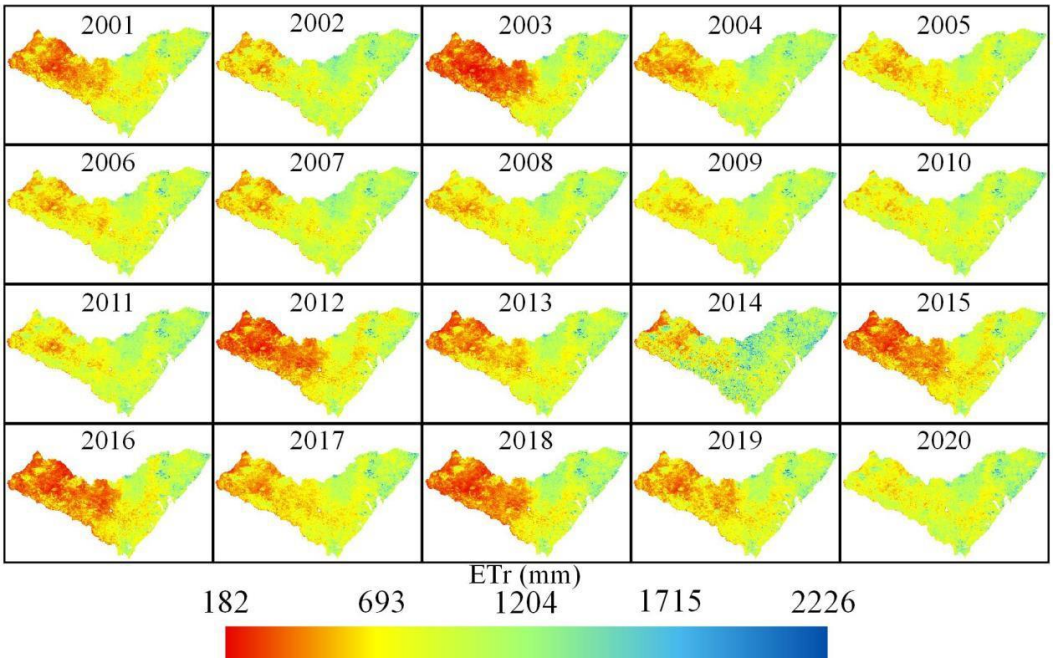
Figura 4 – Variabilidade espacial média da Evapotranspiração Real do estado de Alagoas para o período chuvoso e seco



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Quando se observa a variação espacial do acumulado anual da ETr, apresenta uma média de 827,9 mm/ano com valores mínimo e máximo, respectivamente, de 182,6 a 2225,9 mm /ano. Reforça-se que os menores valores, também do acumulado anual, ocorrem no oeste do estado, com acumulado anual dos anos de 2001, 2003, 2012, 2013, 2015, 2016 e 2018, os valores variam de 182 a 300 mm/ano. Em contrapartida, do centro ao leste de Alagoas os valores acumulados foram superiores a 800 mm/ano, com destaque a área nordeste que apresentou maior frequência de ETr superior a 1200 mm/ano.

Figura 5 – Variação espacial do acumulado médio anual da Evapotranspiração real para o estado de Alagoas, 2001 a 2020.



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

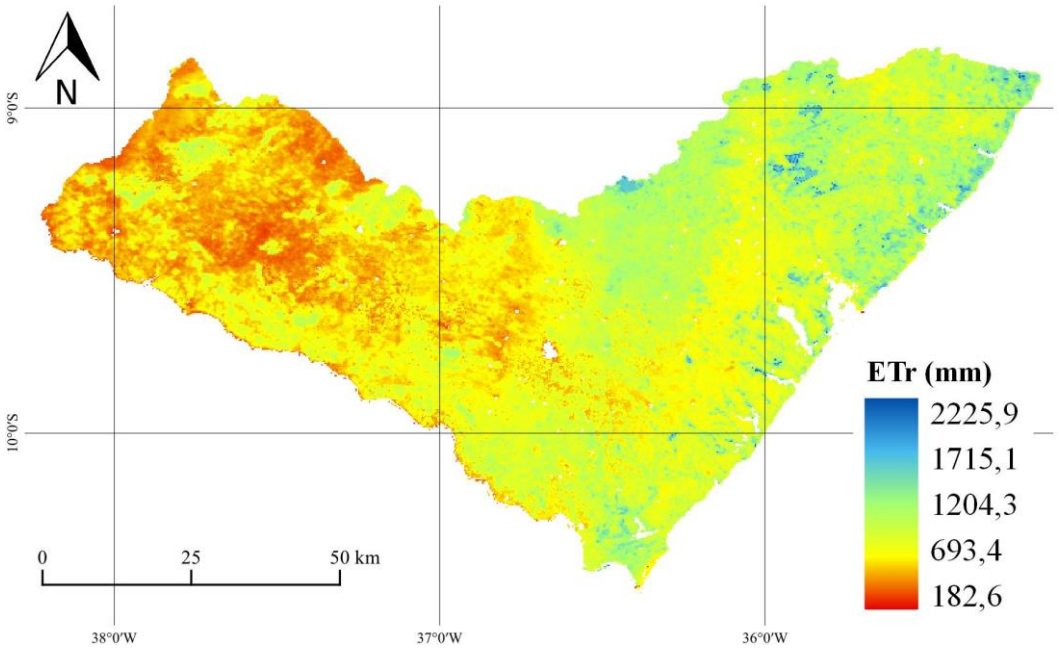
Tabela 1 – Estatísticas descritivas dos mapas médio chuvoso, seco e anual da evapotranspiração real.

Estatísticas	**ETr Chuvoso (mm)**	**ETr Seco (mm)**	**ETr Anual (mm)**
Mínimo	35,0	13,5	182,6
Máximo	181,2	227,4	2225,9
Média	99,3	50,3	827,9
Desvio Padrão	19,0	25,7	239,2
Coeficiente de variação (%)	19,2	51,1	28,9

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Observa-se, na Figura 6, o acumulado médio anual com o oeste com valores de ETr entre 183 a 700 mm/ano, exceto algumas regiões de maiores altimetrias onde a ETr chega a 1000 mm/ano. Regiões do nordeste alagoano se destacam pelos valores de acumulado médio da ETr superiores a 1500 mm/ano. De forma geral, é possível observar a diferença da ETr entre a região seca (sertão alagoano) com os menores valores, e a região úmida do estado (leste alagoano) com os maiores valores, diante dessa série de vinte anos.

Figura 6 – Mapa médio anual da variabilidade espacial da Evapotranspiração Real do estado de Alagoas de 2001 a 2020



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

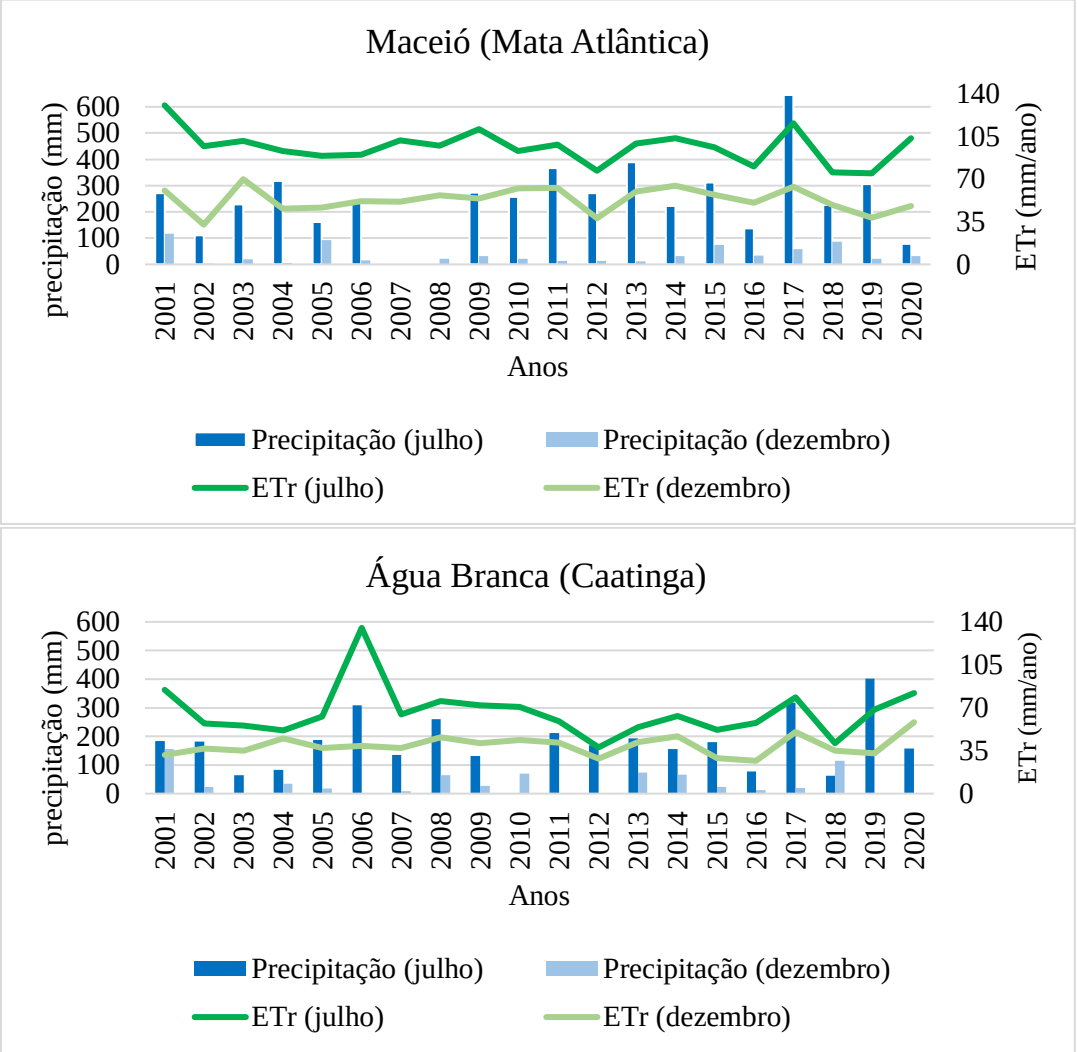
Diante da influência da precipitação nos totais de ETr, buscou-se justificar a variabilidade da ETr. Na Figura 7 os totais de precipitação e ETr são apresentados para duas localidades, uma para a porção leste que contempla a o bioma da mata atlântica (Maceió) e outra para a porção oeste, cujo bioma é o da caatinga (Água Branca). Em alguns anos (2007, 2008, 2010, 2019 e 2020), não houveram informações de precipitação no banco de dados disponibilizado pelo INMET, entretanto, isso não comprometeu as análises desta pesquisa.

Constatou-se que, no mês do período chuvoso de Maceió registrou a maior precipitação no ano de 2017 (645,8 mm/mês). Percebe-se que nesse mesmo ano, as chuvas contribuíram para o alto valor da ETr de 115,90 mm/mês. Observa-se o acompanhamento no ano de 2012, com uma queda do valor precipitação e, consequentemente, uma queda do valor da ETr. Em Água Branca, para o período chuvoso, 2006 foi um ano de precipitação acima elevada (308,6 mm/mês) culminado num aumento de ETr, 135,10 mm/mês.

Para o período seco (dezembro), Maceió nos dois primeiros anos da série (2001 e 2002) apresentou precipitações de 115,90 mm/mês e 3 mm/mês, respectivamente, e observa-se que o valor da ETr também houve decréscimo de respectivos 60,7 mm/mês para 32,6 mm/mês. Em Água Branca, no ano de 2006 apresentou o valor de ETr de 38,9 mm/mês onde nesse ano não foi registrado precipitação (0 mm/mês). É importante destacar que no semiárido, há uma predominância de déficit hídrico no solo, na maior parte do tempo, esse déficit é intensificado quando os valores de ETr superam os de precipitação, que por sua vez,

culminam em diferentes tipos de secas: hidrológica, agrícola e socioeconômica (CABRAL JÚNIOR; BEZERRA, 2018; SILVA, 2018; MEDEIROS et al., 2021).

Figura 7 – Relação entre a Evapotranspiração Real e a Precipitação em Maceió e Água Branca no período chuvoso e seco entre 2001 a 2020.



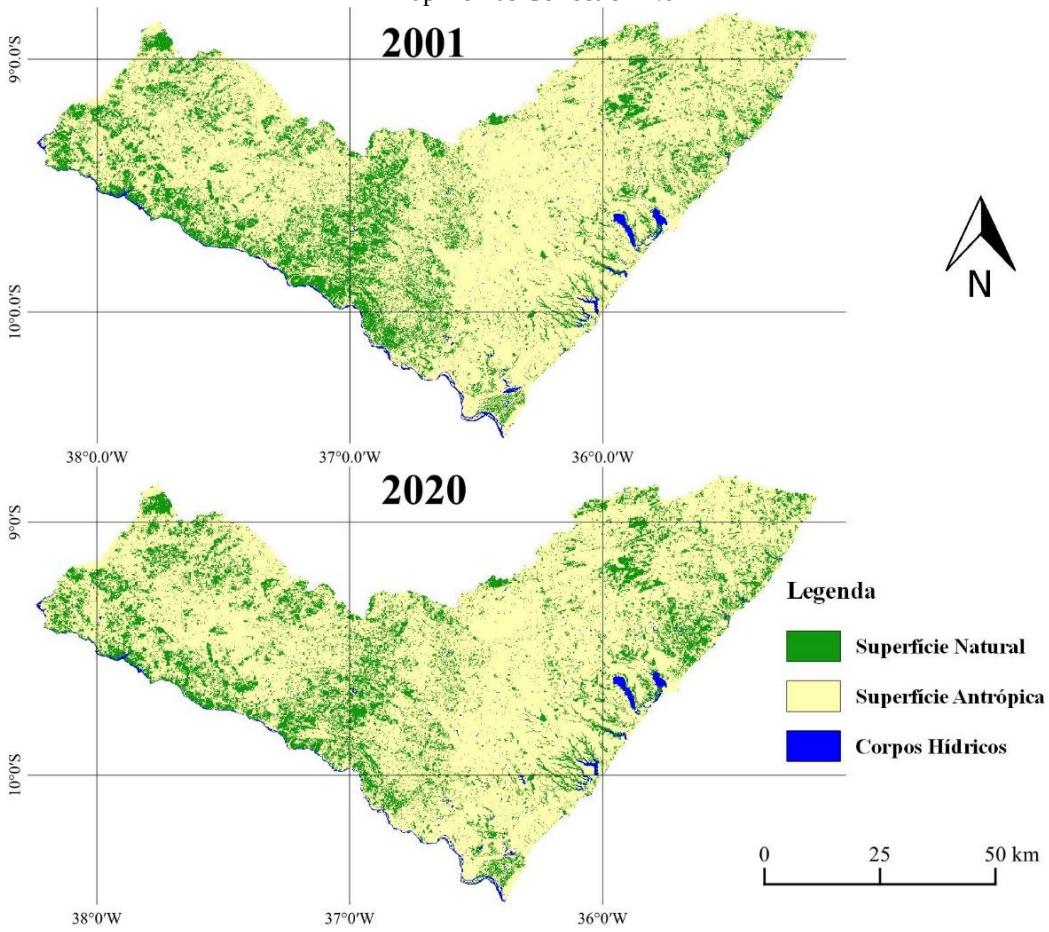
Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A cobertura do solo é um importante parâmetro que influencia a ETr e por isso verificou-se, indícios de relações entre ambas em dois momentos distintos, os anos de 2001 e 2020. Como é possível visualizar na Figura 8, houve na região centro-oeste de Alagoas, uma diminuição da Superfície Natural (SN), cuja região modificada pela ação antrópica é conhecida como a bacia leiteira de Alagoas devido à grande criação de gado para a produção de laticínios.

A bacia leiteira alagoana, formada pelas classes dominantes do estado no semiárido alagoano somado ao baixo desenvolvimento da força produtiva, trouxe investimentos de infraestrutura no setor rodoviário, obras hídricas e de energia elétrica a partir dos anos 2000 (VASCONCELOS JÚNIOR, 2017). Queiroz (2018) aponta a implantação de áreas agrícolas e

de pastagens, bem como a pecuária extensiva como os principais processos de desmatamentos, resultando em paisagens fragmentadas. Observa-se que a vegetação da caatinga foi mais devastada comparada a mata atlântica.

Figura 8 – Condições de superfície no estado de Alagoas nos anos de 2001 e 2020 a partir do mapeamento do MapBiomas Collection 7.0



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Como foi possível visualizar nas figuras anteriores que representam a ETr, nos períodos seco e chuvoso, verificou-se que as regiões com os maiores valores de ETr coincidem com as áreas florestadas. A maior mudança se apresenta no bioma da caatinga com um aumento das áreas antropizadas, somado ao avanço da bacia leiteira como explanado anteriormente, as más práticas agrícolas e desmatamento do bioma para carvoarias clandestinas (NASCIMENTO et al., 2018; GOMES et al., 2019).

A Tabela 2 apresenta o Efeito Relativo (ER) médio da mudança de superfície para cada período: chuvoso e seco. As Superfícies Naturais (SN) compreendem as superfícies de formação florestal, savânica, mangue, restinga dentre outras formações. Enquanto as Superfícies Antrópicas (SA) são especificadas como pastagem, áreas de culturas agrícolas, silviculturas dentre outras formações antrópicas. Corpos Hídricos, como rios, lagos e oceanos,

e dados não observados, como áreas bloqueadas por nuvens ou ruído atmosférico ou com ausência de observação, foram classificados como Outras, conforme a Tabela 3.

Durante o período chuvoso, as SA apresentaram maior variabilidade de ETr comparadas as SN, com ER de 11% negativos. O ER do período seco também foi negativo, com 31,6%. Na prática, isso demonstra que a medida em que se aumenta a substituição de SN por SA, a ETr diminui, e essa relação foi mais intensa no período seco. Isso se torna um indicador agravante de disponibilidade hídrica no solo, a partir de que ações antropogênicas estão contribuindo para intensificar o déficit de água no solo e desencadear outros impactos socioambientais associados.

Tabela 2 – Efeito Relativo (ER) médio da mudança de Superfícies Naturais (SN) para Superfícies Antrópicas (SA) para Evapotranspiração real (ETr) para estação chuvosa e estação seca, Alagoas-Brasil (2001-2020).

Período	Superfície	ETr (mm)
Chuvoso	Superfícies Naturais (SN)	109,1 ± 18,2
	Superfícies Antrópicas (SA)	97,1 ± 18,4
	Efeito Relativo (ER)	-11,0%
Seco	Superfícies Naturais (SN)	63,3 ± 36,5
	Superfícies Antrópicas (SA)	43,3 ± 21,4
	Efeito Relativo (ER)	-31,6%

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A Tabela 3 apresenta, em valores quantitativos, áreas de SN, SA, corpos hídricos e não observados. Observa-se que o a SN, em km², diminuiu 0,4%, enquanto que a SA aumentou 0,5%. No período analisado houve uma redução de 112 km² de SN e um aumento de 139 km² de SA.

Tabela 3 – Relação entre superfície natural e antrópica nos anos de 2001 e 2020.

Superfície	2001 (km²)	2020 (km²)	2001 (%)	2020 (%)	≠ (%)
Natural	6.004	5.892	21,57	21,17	-0,4
Antrópica	21.425	21.564	76,98	77,48	0,5
Outras	401	375	1,28	1,14	-0,1
TOTAL	**27.830**	**27.830**	**100**	**100**	

Em suma, é possível notar que, entre 2001 e 2020, o tamanho das áreas naturais diminuiu. Isso é compreensível quando analisamos a Tabela 2, que mostra os maiores valores de ETr estão em área onde foram transformadas em áreas antropizadas, que consequentemente resultou numa menor oferta hídrica.

Em uma escala regional, áreas naturais tem efeito maior na disponibilidade hídrica (AMORIM et al., 2005). Essas áreas quando associadas a interferências antrópicas e ao fenômeno da seca na região semiárida do pais, visto a longo prazo, colocam em risco a segurança hídrica da região somados a expansão do agronegócio (BRITO et al., 2022).

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados sobre a variabilidade espacial e temporal da ETr para o estado de Alagoas, pode-se concluir que:

1. A ETr do estado de Alagoas é, em média, maior na porção leste e menor na região oeste (Sertão), essas variações se devem, principalmente há desigual quantidade e distribuição de umidade no solo, ou seja, ocasionados pela irregularidade da precipitação e pela cobertura vegetal;
2. Nos meses chuvoso (julho) e seco (dezembro) a ETr, média, é respectivamente de 99,3 mm/mês e 50,3 mm/mês. O acumulado médio anual é 827,9 mm;
3. O período seco apresenta maior variabilidade de ETr (CV= 51,1%) do que no período chuvoso (CV=19,2);
4. Foi observado que as áreas modificadas por ações antrópicas obtiveram expansão no estado de Alagoas, e, em contrapartida houve uma redução, nessas áreas, de disponibilidade hídrica para evapotranspirar;
5. A ETr além de ser um importante componente do ciclo hidrológico, pode ser também um importante indicador de disponibilidade hídrica e de cobertura vegetal.

6 REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; et al. Crop evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO. Irrigation and Drainage Paper, n. 56 Rome: FAO, 300 p. 1998.

ALVARES, C.A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n. 6, p.711-728. 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507

AMORIM, I. L. et al. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta botânica brasílica**. v. 19, p. 615-623, 2005

ÁVILA, L. F. et al. Partição da precipitação pluvial em uma microbacia hidrográfica ocupada por Mata Atlântica na Serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Florestal**. Santa Maria, RS, v. 24, n. 3, p.583-595. 2014. ISSN 1980-5098. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cflo/a/9hChTcsWSP6hv6jRndq9xPj. Acesso em: 23 set. 2022.

BARBOSA, H. A.; KUMAR, T. V. L. Influence of rainfall variability on the vegetation dynamics over Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 124, p. 377-387, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.08.015

BDMEP. Instituto Nacional de Meteorologia, 2021. Banco de dados do INMET. Disponível em https://portal.inmet.gov.br/servicos/bdmep-dados-hist%C3%B3ricos. Acesso em: 05 nov. 2022.

BRITO, H. C. et al. O índice de segurança hídrica do brasil e o semiárido brasileiro: desafios e riscos futuros. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 74, n. 1, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.14393/rbcv74n1-60928

BUSSAB, W.O.; MORETTIN, P.A. **Estatística Básica**. 4 ed. Atual Editora: Santos, 1987.

CABRAL JÚNIOR, J. B.; BEZERRA, B. G. Análises da evapotranspiração de referência e do índice de aridez para o Nordeste do Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 4, n. 1, p. 71-89. 2018. ISSN 2447-3359.

CABRAL JÚNIOR, J. B. et al. Características da Cobertura do Solo em Anos de Contrastes Climáticos (chuvoso e seco) no Oeste da Amazônia, Rio Branco–Acre, Utilizando Sensoriamento Remoto, **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 06, p. 2704-2714, 2022

CARVALHO, H. et al. Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 27, n. 2, p. 221–229, 2011a. ISSN 0747-5632. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/8070. Acesso em: 15 ago. 2022.

CARVALHO, L. G. et al. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, GO, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011b. ISSN 1983-4063 Disponível em: https://www.scielo.br/j/pat/a/w3wxhhsgqVK67LPMhPJNQnq/. Acesso em: 04 fev. 2022.

CIRILO, J. A. et al. Development and application of a rainfall-runoff model for semi-arid regions. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 25, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190106

COSTA, D. D. et al. Long-term relationships between climate oscillation and basin-scale hydrological variability during rainy season in eastern Northeast Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 63, p. 1636-1652, 2018. ISSN 0262-6667. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02626667.2018.1523614. Acesso 25 ago. 2022.

COSTA, S. B.; HERDIES, D. L.; SOUZA, D. O. Extreme Precipitation Events on the East Coast of Brazil's Northeast: Numerical and Diagnostic Analysis. **Water**. v. 14, n. 19, p. 3135, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/w14193135

D'ALMEIDA, C. et al. The Effects of Deforestation on the Hydrological Cycle in Amazonia: A Review on Scale and Resolution. **International Journal of Climatology**. v. 27, n. 5, p. 633-647. 2007.

ESA. European Space Agency, 2021. Copernicus Global Digital Elevation Model Distributed by OpenTopography. Disponível em: https://doi.org/10.5069/G9028PQB. Acesso em: 22 dez 2021.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**: período 2020/2021, relatório técnico. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2022. 72p. Acesso em: 22 set. 2022.

GOMES, D. L. et al. Exploração da caatinga em assentamentos rurais do semiárido alagoano. **RAEGA**: O Espaço Geográfico em Análise, v. 45, n. 1, p. 142-152, 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/raega.v45i1.51476

HENGL, T.; HEUVELINK, G. B.M.; ROSSITER, D. G. About regression-kriging: From equations to case studies. **Computers & geosciences**, v. 33, n. 10, p. 1301-1315, 2007.

HU, G.; JIA, L.; MENENTI, M. Comparison of MOD16 and LSA-SAF MSG evapotranspiration products over Europe for 2011. **Remote Sensing of Environment**, v. 156, p. 510-526, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.10.017

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. Biomas. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomas.html?=&t=downloads. Acesso em: 31 jan. 2022

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. Delimitação do estado de Alagoas. Disponível https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al.html. Acesso em: 31 jan 2022.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2021. Satélites Aqua e terra e o sensor MODIS. Disponível em: http://www.dgi.inpe.br/CDSR/modis.html. Acesso em: 24 mai. 2022

IVO. I. O. et al, Effect of fires on biophysical parameters, energy balance and evapotranspiration in a protected area in the Brazilian Cerrado, **Remote Sensing Applications**: Society and Environment, v. 19, 2020, n. 100342, ISSN 2352-9385. Disponível

em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938520301403. Acesso em 14 set. 2022.

JARDIM, A. M. 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. DOI: https://doi.org/10.3390/rs14081911

LINS, F. A. C. et al., (2021). Análise da dinâmica temporal da evapotranspiração real em uma bacia hidrográfica do semiárido através de modelagem hidrológica e sensoriamento remoto. **IRRIGA**. [S. l.], v. 26, n. 3, p. 543–564, 2021. DOI: 10.15809/irriga.2021v26n3p543-564. Disponível em: https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4449. Acesso em: 16 jan. 2023.

LOARIE, S. R. et al. Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil. **Nature Climate Change**, v. 1, p. 105-109, 2011. DOI: https://doi.org/10.1038/nclimate1067 Disponivel em: http://www.nature.com/doifinder/10.1038/nclimate1067

LUCENA, R. L. et al. The Influence of Altitude on the Climate of Semiarid Areas: Contributions to Conservation. **The International Journal of Climate Change**: Impacts and Responses, v. 14, n. 2, p. 81-93, 2022. ISSN 2833-4140.

LYRA, G.B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; ZERI, M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state. Northeast of Brazil. **International Journal of Climatology**. v. 34, n. 13, p. 3546-3558. 2014. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.3926

MAPBIOMAS. MapBiomas. Projeto de mapeamento anual do uso e cobertura da terra no Brasil. Disponível em: https://mapbiomas.org/o-projeto. Acesso em: 24 mai. 2022

MEDEIROS, F. J. et al. Hydrometeorological conditions in the semiarid and east coast regions of northeast brazil in the 2012-2017 period. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, 2021. ISSN 1678-2690.

MEDEIROS, T. K. F. et al. Desertificação ambiental: causas e efeitos no semiárido paraibano. In: I CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE E SOCIEDADE. v. 13., 2019, Campina Grande. **Anais**. Campina Grande, PB: CONIMAS, 2019. ISSN: 2526-186X

MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S.O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

MONTEIRO, K. A.; CORRÊA, A. C. B. Application of morphometric techniques for the delimitation of Borborema Highlands, northeast of Brazil, eastern escarpment from drainage knick-points. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 103, p. 102729, 2020

MU, Q.; ZHAO, M.; RUNNING, S. W. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. **Remote Sensing of Environment**. v. 115, n. 8, p. 1781-1800, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.02.019

NASCIMENTO, S. P. G. et al. Impactos ambientais da produção vegetal no processo de desertificação do semiárido alagoano: o caso de Ouro Branco-AL. **Revista Ciência Agrícola**, v. 16, p. 31-35, 2018. DOI: https://doi.org/10.28998/rca.v16i0.6592

OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. et al. Rainfall in Brazilian Northeast via in situ data and CHELSA product: mapping, trends, and socio-environmental implications. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, p. 1-19, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s10661-021-09043-9

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia**: Fundamentos e Aplicações Práticas. São Paulo. USP/ESALQ, 2007, 192 p.

PEDREIRA JUNIOR, A. L. et al. Efeito da mudança da cobertura em parâmetros biofísicos em Cuiabá, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 03, p. 1324-1334, 2020.

QUEIROZ. M. G de. **Impacto do desmatamento na interação biosfera-atmosfera do domínio caatinga**. 2018. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2018.

RAMOELO, A. et al. Validation of global evapotranspiration product (MOD16) using flux tower data in the African savanna, South Africa. **Remote Sensing**. v. 6, n. 8, p. 7406-7423, 2014. DOI: https://doi.org/10.3390/rs6087406

ROCHA JÚNIOR, R.L. et al. An Empirical Seasonal Rainfall Forecasting Model for the Northeast Region of Brazil. **Water**. v. 13, n. 12. p. 1613. 2021. ISSN 2073-4441. Disponível em: https://doi.org/10.3390/w13121613. Acesso em: 25 ago. 2022

ROY, S.B.; AVISSAR, R. Impact of land use/land cover change on regional hydrometeorology in Amazonia. **Journal of Geophysical Research**: Atmospheres. v. 107, n. D20, p. LBA 4-1-LBA 4-12, 2002. DOI: https://doi.org/10.1029/2000JD000266

RUHOFF, A. L. et al. Validation of the global evapotranspiration algorithm (MOD16) in two contrasting tropical land cover types. **Remote Sensing and Hydrology**. v. 352, p. 128-131, 2012.

SALAZAR, A. et al. Deforestation changes land-atmosphere interactions across South American biomes. **Glob. Planet. Change**. v. 139, p. 97–108. 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.01.004

SALVATIERRA, L. H. A. et al. Protected areas buffer the Brazilian semi-arid biome from climate change. **Biotropica**, v. 49, n. 5, p. 753-760, 2017. DOI: https://doi.org/10.1111/btp.12459

SEARLE, S.R., CASELLA, G. MCCULLOCH, C. E. Analysis of Variance Estimation for Unbalanced Data, Wiley Series in Probability and Statistics. **Variance Components**. Cap. 5, 1992, pp. 168-231. DOI: https://doi.org/10.1002/9780470316856.ch5

SILVA, F. G. C.; PACHECO, J. S. Processo de desertificação: estudo de caso em Irauçuba-CE. **Revista Eletrônica Teccen**, v. 9, n. 1, p. 47-51, 2016.

SILVA, F. D. S. et al. Tendências observadas da evapotranspiração potencial no estado de Alagoas (1961-2016). **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 11, n. 1, p. 28-43. 2018. ISSN 1984-2295. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234891. Acesso em: 27 jul. 2022.

SILVA, H. J. F DA.; GONÇALVES, W. A.; BEZERRA, B. G. Comparative analyzes and use of evapotranspiration obtained through remote sensing to identify deforested areas in the Amazon. **Int. J. Earth Obs. Geoinformation**. v. 78, p. 163-174, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.01.015

SILVA, J. G. **Desempenho de modelos indiretos de estimativa de evapotranspiração de referência (ETo) e comparação georreferenciada com dados orbitais em Pernambuco**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

SILVA, J. S. et al. Climatology and significant trends in air temperature in Alagoas, Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 1-20, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-023-04358-8

SKIDMORE, M. E. et al. Sustainable intensification in the Brazilian cattle industry: the role for reduced slaughter age. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 6, p. 064026, 2022.

SOUZA, C.M. et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sens**. v. 12, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/rs12172735. Acesso em: 27 nov. 2022.

SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, 2017. Disponível em: http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido. Acesso em: 26 jul. 2022.

VASCONCELOS JÚNIOR, N. A. **Organização espacial da bacia leiteira no semiárido de Alagoas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.