




## Análise da temperatura de superfície terrestre e variáveis biofísicas em domínios de vegetação do Brasil

*Analysis of the land surface temperature and biophysical variables in vegetation domains in Brazil*

Lucas Augusto Pereira da Silva<sup>\*1</sup> , Andre Medeiros Rocha<sup>2</sup> , Cristiano Marcelo Pereira de Souza<sup>3</sup> , Marcos Esdras Leite<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.

Recebido (Received): 18/01/2021

Aceito (Accepted): 17/08/2021

<sup>2</sup>Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>3</sup>Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, MG, Brasil.

E-mail: andremedeiros197@gmail.com (AMR); cmpsgeografia@gmail.com (CMPS);

marcosesdrasleite@gmail.com (MEL).

\*E-mail para correspondência: lucaskaio1605@gmail.com

**Resumo:** Os domínios de Vegetação são fundamentais para controle térmico e redistribuição de calor e umidade para o Brasil. Entretanto, a conversão da vegetação natural para sistemas antrópicos pode alterar essa dinâmica. O objetivo foi avaliar o padrão da temperatura de superfície terrestre e de variáveis biofísicas nos domínios de vegetação do Brasil nos anos de 2004 e 2016. Dados de sensoriamento remoto foram empregados para obter a temperatura de superfície e as variáveis biofísicas, a saber, índice de vegetação, evapotranspiração, precipitação e déficit hídrico. Comparando os anos de 2004 e 2016, a temperatura aumentou 1,04 °C; com maior média no domínio de vegetação de Savanas (31,98 e 33,12 °C para 2004 e 2016), seguida das Áreas de Tensão Ecológica (29,69 e 30,85 °C, em 2004 e 2016), enquanto as menores médias ocorreram nas Florestas (27,46 e 28,38 °C, para 2004 e 2016). Na dinâmica temporal (entre 2004 e 2016), observou-se que a  $\Delta T_{ST}$  (mudança da temperatura de superfície terrestre) média para as Savanas foi 1,14 °C, 0,92 °C nas Florestas e 1,16 °C nas Áreas de Tensão Ecológica. Portanto, as Savanas e ATE apresentaram menor capacidade de atenuar o efeito do aumento da temperatura de superfície. As variáveis biofísicas mostram correlação negativa com Temperatura de Superfície Terrestre em todos os domínios de vegetação. Em geral, o aumento da temperatura nos domínios de vegetação brasileiros indica os efeitos das perturbações antrópicas na dinâmica climática.

**Palavras-chave:** Savanas; Florestas; ATE; MOD11A1; Sensoriamento remoto.

**Abstract:** The Vegetation domains are fundamental for thermal control and redistribution of heat and humidity in Brazil. However, the conversion of natural vegetation to anthropic systems can change this dynamic. The objective was to evaluate the pattern of land surface temperature and biophysical variables in the vegetation domains of Brazil in the years 2004 and 2016. Remote sensing data were used to obtain surface temperature and biophysical variables, namely, vegetation, evapotranspiration, precipitation, and water deficit. Comparing the years 2004 and 2016, the temperature increased by 1.04 °C; with the highest average in the Savanna vegetation domain (31.98 and 33.12 °C for 2004 and 2016), followed by the Ecological Tension Areas (29.69 and 30.85 °C, in 2004 and 2016), while the lowest averages occurred in the Forests (27.46 and 28.38 °C, for 2004 and 2016). In the temporal dynamics (between 2004 and 2016), it was observed that the average  $\Delta T_{ST}$  (land surface temperature change) for Savannas was 1.14 °C, 0.92 °C for Forests, and 1.16 °C for Ecological Stress Areas. Therefore, Savannas and ATE showed less ability to attenuate the effect of increasing surface temperature. Biophysical variables show a negative correlation with Land Surface Temperature in all vegetation domains. In general, the increase in temperature in Brazilian vegetation domains indicates the effects of anthropic disturbances on climate dynamics.

**Keywords:** Savanna; Forest; ETA; MOD11A1; Remote sensing.

## 1. Introdução

A vegetação é um fator importante no controle climático, em escalas regional e global, pois influencia na distribuição de calor, sequestro de carbono, fluxos de vapor e propriedades termais (GERTEN *et al.*, 2004; SENEVIRATNE *et al.*, 2010; FORZIERI *et al.*, 2018, 2020). Portanto, as mudanças da configuração natural da vegetação, sobretudo por ações antrópica, afetam o padrão das variáveis de cunho climático (FINDELL *et al.*, 2011). Embora existam estudos sobre a temperatura de superfície a nível do território brasileiro (na maioria das vezes para biomas e estados) (ANDREOLI; KAYANO, 2007; SANTOS; FERREIRA; FERREIRA, 2011a), abordagens por domínios de vegetação em escala nacional são escassas.

Do ponto de vista fitogeográfico, o Brasil possui domínios vegetacionais contrastantes, reflexo também da dimensão latitudinal do território brasileiro. Além disso, verifica-se que a variabilidade espacial dos níveis de precipitação e temperatura atrelado em segundo plano às propriedades edáficas particulares de cada sítio permitem que o Brasil conjuntamente apresente desde formações florestais densas (Florestas tropicais fluviais ou Florestas ombrófilas densas) à formações campestres adaptadas à regimes de grande escassez hídrica (Savanas-estépicas gramíneo-lenhosa) (RIBEIRO e WALTER, 2008; IBGE, 2012).

O território brasileiro é composto por seis grandes biomas terrestres, os quais individualmente se caracterizam por comportar um tipo de vegetação dominante e outros tipos de vegetação em menor proporção (IBGE, 2004 e 2006; RIBEIRO e WALTER, 2008). As formações florestais e savânicas apresentam dominância espacial no território brasileiro (IBGE, 2004 e 2006), sendo representadas respectivamente pelos biomas Amazônia (49,3%), Mata Atlântica (13%) e Cerrado (23,9%)/ Caatinga (9,9%). Os biomas Pampas (2,1%) e Pantanal (1,8%) possuem menores áreas, mas com alta relevância (ROESCH *et al.*, 2009).

As mudanças de Uso e Cobertura do Solo (UCS) tem levado redução das áreas vegetadas, apesar de alguns registros indicar estabilização e decréscimos das taxas de desmatamento em algumas áreas do território brasileiro (CAIONI *et al.*, 2020), Coe *et al.* (2017) salienta que na fronteira agrícola dos biomas Cerrado e Amazônia se caracterizam desde a década de 1970 como uma das zonas de desmatamento de maior amplitude do globo. No ano de 2019, o Relatório anual de Desmatamento desenvolvido pelo MapBiomas (2019) revelou que 96,7% da área desmatada estava restrita somente à ambientes de Cerrado e Amazônia. Além disso, ~99% dos alertas de desmatamento detectados ocorreram em áreas de desmatamento não-autorizado.

As perdas de vegetação do Brasil relacionadas a mudanças do UCS são capazes de gerar efeitos perceptíveis em escala global. Do ponto de vista florestal, a representatividade dos biomas Amazônia e Mata Atlântica adquirem notoriedade, pois representa cerca de 90% das formações florestais do Brasil (MAPBIOMAS, 2020) e constitui a segunda maior reserva florestal do planeta, estando atrás somente da Rússia (FAO, 2020). Os ambientes savânicos, que ocorrem na América do Sul, África e Ásia (OLSON *et al.*, 200), porém, as Savanas do Brasil (Cerrado) possuem maior biodiversidade e constitui o domínio savânico mais ameaçado do planeta (CARDOSO DA SILVA e BATES, 2002)(MYERS *et al.*, 2000, HANSON *et al.*, 2008, WEINZETTEL *et al.*, 2018).

As mudanças do UCS implicam em modificações sistêmicas que se expressam no albedo de superfície, nos componentes do balanço de energia e no saldo de radiação (RUHOFF *et al.*, 2012; SALAZAR *et al.*, 2016; BRIGHT; O'HALLORAN, 2019; CUNHA *et al.*, 2020; FARIA *et al.*, 2018). Lambin, Geist e Lepers (2003) descrevem que somente no decorrer da década de 1970, as mudanças do UCS foram identificadas como fatores que alteram o albedo de superfície e de outro modo as trocas de energia no sistema superfície-atmosfera. Apesar dessa relativa contemporaneidade, as mudanças do UCS atuam como um dos fatores de ordem antropogênica capazes de produzir alterações significativas no balanço de Radiação da Terra e por isso são consideradas forçantes climáticas (BARRY e CHORLEY, 2009).

Nos estudos sobre os efeitos das influências antropogênicas no sistema climático, a Temperatura de Superfície Terrestre (TST) se apresenta como variável-chave (proxy) (WOOLWAY *et al.*, 2020), pois é altamente sensível às mudanças na cobertura vegetal, possuindo influência nas demais variáveis do balanço de radiação e energia (BASTIAANSEN *et al.*, 1998; FREDRIKSEN; RYPDAL, 2017). Esse efeito do aumento de temperatura após o desmatamento é confirmado em domínios de Savana (COE *et al.*, 2016; MORAES *et al.*, 2018) e em Florestas (COE *et al.*, 2016). Loarie *et al.*, (2011) para áreas de Savanas, apontaram que conversões de vegetação natural para mosaicos de pastagens e agricultura elevou a TST em 1.55 °C. Carrasco *et al.*, (2020) em análise para áreas de Florestas no estado de São Paulo, constataram que houve aumento (em escala temporal) da TST em função das conversões de uso e cobertura da terra na área de estudo. Prevedello *et al.*, (2019) para Florestas tropicais, observaram que a perda de 50% dessas áreas aumentou a TST na ordem de 1.08 °C, enquanto ganho florestal decresceu a temperatura em -1.11 °C.

Wanderley *et al.*, (2019) em Florestas tropicais, mostraram que a cada 25% de aumento de áreas não florestadas ocorre aumento da TST de 1 °C, chegando a 4 °C.

Considerando o importante papel que a vegetação exerce nos componentes do balanço de radiação e em função do histórico de desmatamento que o território brasileiro possui, o presente estudo objetiva avaliar os padrões de mudança na temperatura de superfície terrestre (TST) nos principais domínios de vegetação do Brasil nos anos de 2004 e 2016 e investigar como tais alterações estão associadas com a variabilidade de métricas biofísicas do ambiente (NDVI, Evapotranspiração Potencial, Latitude e Déficit Hídrico).

Para desenvolvimento deste estudo, o ano de 2004 fora determinado como ano base inicial, em função do mapa de vegetação do Brasil ser oriundo deste ano (IBGE, 2004). O ano de 2016, por sua vez, fora considerado, por ser o ano mais recente, em que todas as variáveis utilizadas apresentam compatibilidade de disponibilização. Na atual investigação, as variáveis biofísicas serão consideradas, pois exercem controle sobre padrões da TST em vários ecossistemas no globo terrestre (SCHULTZ; HALPERT, 1993, 1995). Dentre essas variáveis, a evapotranspiração tem se mostrado como chave no entendimento da dinâmica termal, sobretudo por umidificar as superfícies adjacentes de áreas vegetadas (GE *et al.*, 2019). Os índices de Vegetação apresenta-se como proxy do vigor vegetativo, o que tende a controlar a capacidade de absorção de radiação incidente à superfície (PARKER; FITZJARRALD; GONÇALVES SAMPAIO, 2019). De forma integrada, o vigor da vegetação é norteado pelos inputs pluviométricos e balanço hídrico no solo (WANG; PRICE; RICH, 2001).

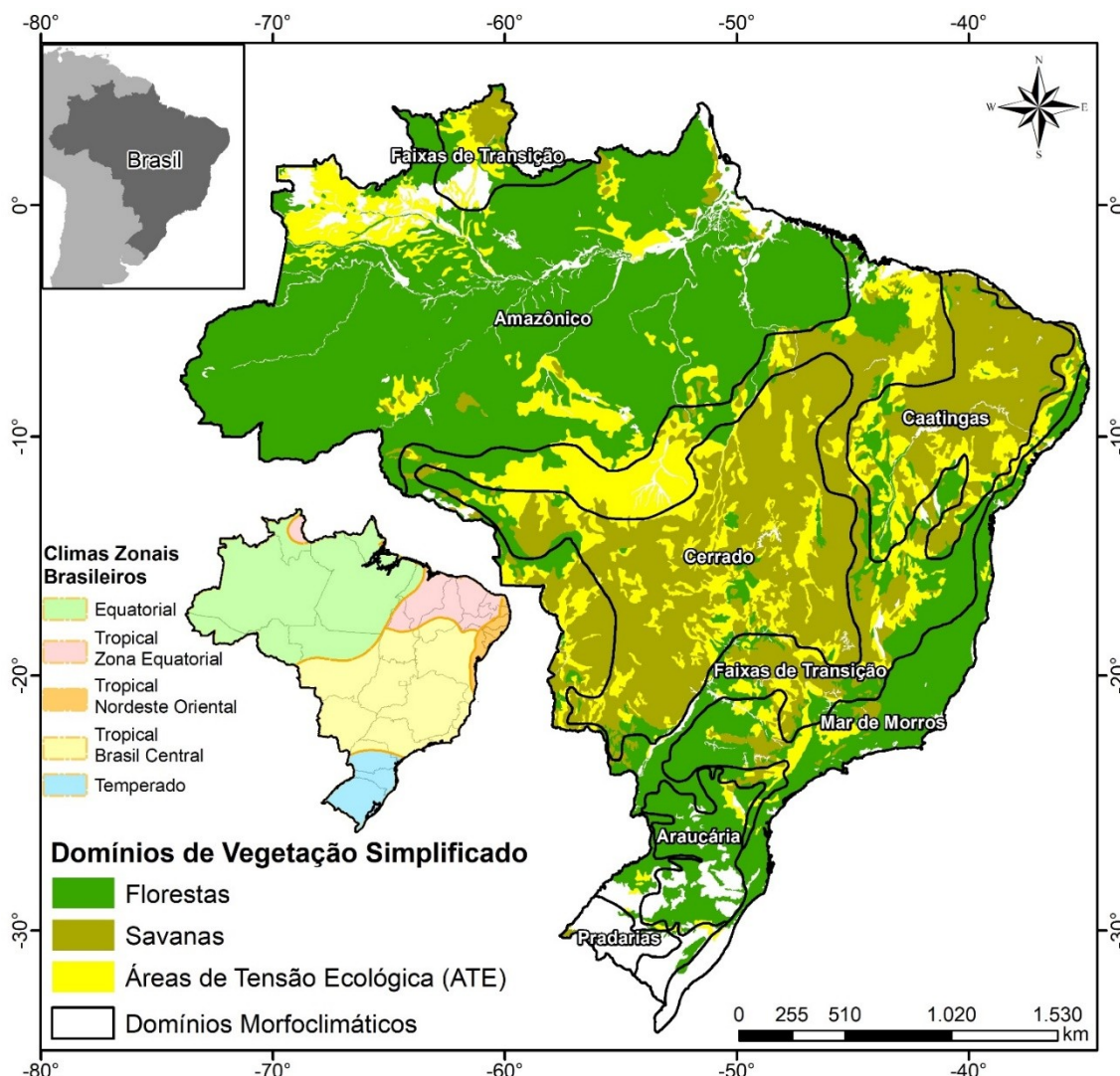
Em relação às imagens de satélite utilizadas, os produtos com maiores resoluções espaciais (séries LANDSAT e CBERS) possuem baixa resolução temporal (USGS, 2021, EIPHANIO, 2011). Alternativamente, o produto MOD11A1 do sensor MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) satélites Aqua e Terra, tornou-se opção atrativa para se empregar no presente estudo, pois possui escala temporal diária, com registros radiométricos bem discriminados e cobrindo vastas áreas (WAN, 2008).

## 2. Área de estudo

Localizado na América do Sul, o Brasil possui área de 8.516.000 km<sup>2</sup>, com 27 unidades federativas. Constituído por domínios climáticos Equatorial, Tropical Zona Equatorial, Tropical Nordeste Oriental, Tropical Brasil Central e Temperado (IBGE, 2002), o país é formado pelos domínios morfoclimáticos Cerrado, Amazônico, Caatinga, Araucárias, Pampas, Mares de Morro e Zonas de Transição (AB'SABER, 1970).

No país, a vegetação atualmente é diferenciada conforme Sistema de Classificação Fisionômico-Ecológico (IBGE, 2012), a qual é pautado primariamente na Classificação de Ellenberg e Müller-Dombois (1967). Em tal paradigma, a vegetação é estruturada seguindo o sistema hierárquico de formações, compondo-se no território brasileiro de nove regiões fitoecológicas (correspondentes a tipos de vegetação) (IBGE, 2004 e 2012), a saber: Florestas Ombrófilas (Densa, Aberta e Mista), Florestas Estacionais (Decidua e Semidecidual), Campinarana, Savana, Savana-Estépica e Estepe. Nessa pesquisa, no entanto, a atenção fora dada aos tipos de vegetação de maior expressividade e cobertura territorial, obtendo, assim três grandes classes: Florestas (448.865 km<sup>2</sup>), Savanas (232.472 km<sup>2</sup>) e Área de Tensão Ecológica (ATE) (149.474 km<sup>2</sup>) (**Figura 1**).

As Florestas estão predominantemente na porção norte, sudeste e sul do Brasil. As Savanas se estendem pela porção central, ocupando a extensão SW/NE. As ATE, por sua vez, constituem sistemas de contato entre tipos de vegetações (ecótonos ou enclaves).



**Figura 1:** Localização do Brasil com Domínios de Vegetação do Brasil, Domínios Morfoclimáticos e Climas do Brasil. **Fonte:** IBGE 2002 e 2004. **Org.:** dos Autores, 2021.

### 3. Procedimentos metodológicos

Utilizou-se nesse estudo os limites vegetacionais definidos como unidades espaciais para avaliação da distribuição espacial da Temperatura de Superfície Terrestre. Em função, particularmente, do ano do Mapa da Vegetação Brasileira do IBGE (2004) e devido ao período de disponibilização de algumas variáveis empregadas (como a Evapotranspiração Potencial), decidiu-se direcionar as análises para os anos de 2004 e 2016.

Para a representação da temperatura de superfície terrestre, empregou-se o produto MOD11A1 do sensor MODIS (satélite TERRA), com Unidade Mínima de Mapeamento (UMM) de 1 km. O MOD11 considera o cálculo da emissividade dos alvos da superfície, a qual é essencial na mensuração de TST, pois aponta a capacidade dos alvos na superfície emitir radiação considerando suas características atômicas (FERREIRA, 2020), sem esse parâmetro há uma subestimativa da TST. A qualidade do MOD11 ainda é assegurada por procedimentos técnicos realizados nas imagens, como desenvolvimento do ângulo de visada para corrigir os efeitos atmosféricos, estabilidade quanto aos números digitais, assinatura da banda infravermelho termal incorporando dados de temperatura, reflectância, emissão, absorção, dispersão atmosférica e radiação solar do dia (WAN, 2008).

No grupo das variáveis, extraiu-se as variáveis: i) NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derivado do sensor MODIS, produto MOD13Q1 (UMM de 500 metros), ii) Precipitação (PC) a partir do produto 3B43 do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) (UMM de 30 km) e iii) Evapotranspiração Potencial (ETP) do produto MOD16A2 (UMM de 500 metros). A partir da Precipitação e ETP, o iv) déficit hídrico (DH) fora estimado pela subtração entre ETP e PC (ARANTES; FERREIRA; COE, 2016). Adicionalmente, a variável v) latitude também foi incorporada na análise, pois atua como fator essencial/controlador da dinâmica climática (LIU; BALLANTYNE; COOPER, 2019). Para efeito de análise,

os dados mensais de todas as variáveis referentes 2004 e 2016 foram convertidos mediante cálculo para média anual do respectivo ano. A escolha dessas variáveis foi motivada considerando que inferem no controle da dinâmica térmica dos ecossistemas terrestres.

Para cada domínio de vegetação, 2500 pontos aleatórios (Grade Normal) foram distribuídos, com distância mínima de 2,5 km, com vista a extrair os valores de TST, NDVI, PC, ETP e DH. Os valores então obtidos por domínios vegetacionais foram avaliados utilizando box-plot. Com objetivo de observar se houve diferença significativa entre as médias de TST por domínio de vegetação aplicou-se a Análise de Variância (ANOVA). A ANOVA indica apenas se há diferença ou não. Portanto, para selecionar os pares com as diferenças, aplicou-se o teste de Tukey. O teste de Tukey foi aplicado com Nível de Confiança (NC) de 95%, logo, com  $\alpha$  ( $\alpha$ ) de 0,05. Avaliou-se o *p-value* e intervalo de confiança (IC) obtido para os pares de domínios de vegetação em 2004 e 2016 para observar as diferenças significativas entre as médias de TST. A Análise das Componentes Principais (ACP) foi aplicada secundariamente para reduzir o número de variáveis e permitir a identificação das variáveis mais explicativas (HAIR; BLACK; BABIN, 2010). Entre as variáveis, a correlação de Pearson foi aplicada como mecanismo para análise da associação linear entre as variáveis para cada domínio de vegetação. Com intuito de inferir se as correlações foram significativas, aplicou-se a probabilidade de significância (*p-value*). Aquelas associações com valores maiores que 0,05 (alpha estabelecido) não possuem relação linear singificativas.

## 4. Resultados

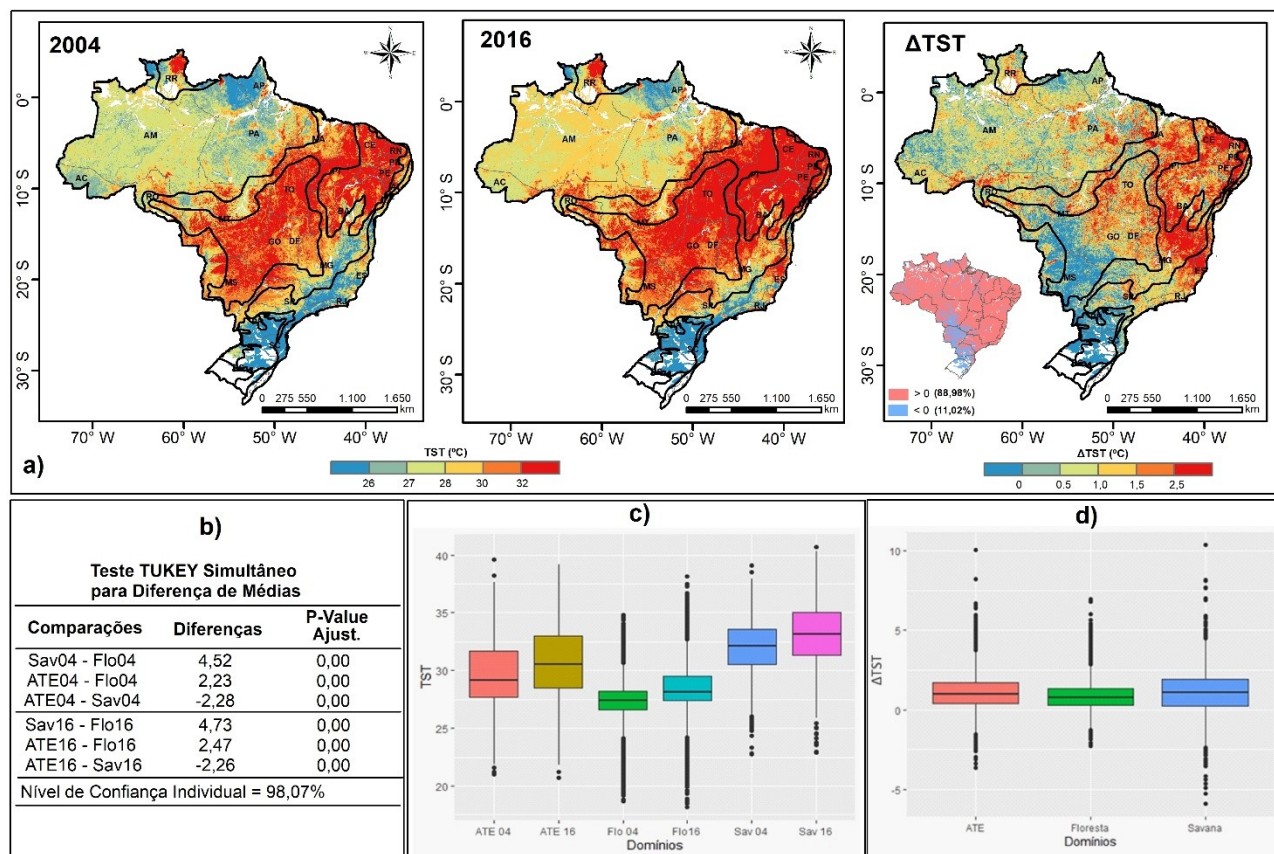
### 4.1. Temperatura de superfície terrestre por domínio de vegetação

Em termos de território brasileiro, os resultados revelaram que a média anual de TST aumentou 1,1°C ( $\Delta T_{ST}$ ) quando comparado os anos de 2004 (29,1°C) e 2016 (30,2 °C). Para essa mesma análise, verificou-se que os coeficientes de variação também registraram aumentos, entre 10,3% a 11,2%, indicando que embora a variação de TST tenha sofrido incremento, a variabilidade espacial de TST aumentou no período considerado. Comparativamente a média, as diferenças entre os valores e mínimos ( $\Delta Min_{TST}$ ) e máximos ( $\Delta Max_{TST}$ ) foram inferiores a um grau, com aumento da mínima em 0,7 °C e recuo da máxima em -0,3 °C. De todo modo, os valores extremos (mínimo e máxima) de TST se mantiveram em 2016 em 4 desvios da média ( $\pm 4\sigma$ ), como averiguado em 2004, demonstrando permanência de *hotspots* e *coldspots* em determinadas áreas.

Espacialmente, o padrão de distribuição de TST (**Figura 2a**) permaneceu aproximadamente inalterado para os anos de 2004 e 2016, com indicação de dois setores principais: (1) o corredor de temperaturas acima de 32 °C posicionado na extensão SW-NE do Brasil (entre Mato Grosso do Sul à Rio Grande do Norte) e (2) as áreas com valores inferiores a 27 °C localizadas principalmente nas regiões sul, sudeste (faixa costeira e leste de MG) e Norte (à oeste do Pará, principalmente). Tomando-se por referência os domínios morfoclimáticos, verifica-se que os setores com TST inalterada correspondem mais sensivelmente a distribuição dos complexos vegetacionais do território brasileiro, com formações savânicas (Cerrado e Caatinga) no setor SW-NE do Brasil e formações florestais principalmente (Amazônia, Mares de Morro e Araucárias) ao Norte e sentido S/SE do Brasil. Por outro lado, as variações de TST entre 2004-2016 apontaram aumento, com destaque para o fato de 55,9% registrar valores de TST > 1°C.

As diferenças de TST observadas para os três domínios vegetacionais, analisadas pelo teste de Tukey (**Figura 2b**) revelou que as diferenças térmicas são estatisticamente significativas entre si (*p-value* <  $\alpha$  estabelecido). Partindo-se dessa informação, as **Figuras 2c** e **2d** foram utilizadas respectivamente para análise comparativa entre domínios da distribuição de frequência dos valores de TST e  $\Delta T_{ST}$ .

Para o primeiro caso (**Figura 2c**), as Florestas apresentaram as menores médias de temperaturas em ambos os períodos (27,46 e 28,38 °C, para 2004 e 2016), com aumento de 0,92 °C em 12 anos. Entretanto, a distribuição da TST nas Florestas em 2004 esteve limitada entre 26,6 °C a 28,2 °C e em 2016 essa amplitude aumentou para faixa de 27,4 °C a 29,5 °C. Nas Savanas, a média de TST foi de 32,0 °C em 2004, registrando aumento de 1,12 °C em 2016 (média de 33,12 °C). Em 2004, predominou faixas de 30,6 a 33,6 °C, enquanto em 2016 há um aumento para intervalos entre 31,4 a 35,0 °C. Nas Áreas de Tensão Ecológica, as médias termais foram de 29,69 e 30,85 °C, em 2004 e 2016, respectivamente, com aumento de 1,2 °C. A distribuição de TST concentrou entre 27,7 e 31,7 °C em 2004, enquanto em 2016 há um aumento para intervalos de 28,5 a 33,0 °C.



**Figura 2:** (a) Distribuição Espacial da Temperatura de Superfície Terrestre Média (TST) anual em 2004 e 2016 e Diferença de Temperatura ( $\Delta T$ ) entre 2016 e 2004, (b) Teste de tukey para Diferença de Médias de TST entre os domínios de Vegetação do Brasil, (c) Distribuição de Frequência da TST em domínios de Floresta (Flo), Savana (Sav) e Área de Tensão Ecológica (ATE) para 2004 e 2016 e (d) Distribuição de Frequência da  $\Delta T$ ST entre 2004 e 2016 por domínios Florestas, Savanas e Áreas de Tensão Ecológica. **Fonte:** MOD11A1, 2004 e 2016. **Org.:** dos Autores, 2021.

No que concerne a diferença entre os anos 2004 e 2016, em todos os domínios vegetacionais, houve aumento na TST predominante (percentil 25,  $P25 > 0$  °C). A variação de temperatura ( $\Delta T$ ST) (**Figura 2d**) indicou que nas Florestas, os valores predominaram na faixa de 0,32 e 1,34 °C, com máximo de 6,96 °C e média de 0,92 °C. No entanto, houve ocorrência de áreas com diferenças negativas de -2,26 °C. Nas Savanas, a  $\Delta T$ ST média foi de 1,14 °C e distribuição dos valores entre 0,24 a 1,94 °C. As Áreas de Tensão Ecológica apresentaram comportamento mais semelhante às Savanas, mas ainda com menores intervalos, predominando as faixas de 0,42 a 1,74 °C. A média foi 1,16 °C, máxima e mínima de 10 °C e -3,64 °C. De forma similar, os valores de  $\Delta T$ ST para Savanas e Áreas de Tensão Ecológica (ATE) também se refletem nos valores de desvio padrão. Considerando o período de 2004 e 2016, os desvios médios identificados foram de 1,44 °C e 2,07 °C (Savanas), 1,25 °C e 1,57 °C (ATE) e 1,05 °C e 1,11 °C (Florestas), respectivamente em 2004 e 2016.

#### 4.2. Correlações entre as variáveis e PCA

Para as Florestas em 2004, houve correlação negativa de NDVI, ETP e PC em relação a TST, sendo estatisticamente lineares ( $p$ -value = 0) (**Tabela 1**). O DH obteve correlação nula com a TS, com  $p$ -value de 0,87, não apresentando linearidade. Em 2016 todas as variáveis foram significantes na correlação com a TST (**Tabela 1**). O NDVI, ETP e PC segue o padrão visto em 2004, com valores de  $r$  negativos (correlação fraca negativa). O DH diferentemente de 2004, foi estatisticamente significativo, com correlação negativa em relação à TST. A latitude foi a única variável que apresentou correlação positiva (0,21 e  $p$ -value = 0) com a TST em ambos os períodos.

Nas Savanas em 2004 apenas o DH não obteve significância estatística, com  $r$  nulo em relação à TST. As demais variáveis (NDVI, ETP e PC) foram significantes ( $p$ -value = 0) e apresentaram correlação negativa com TST. Em 2016, todas variáveis foram significantes, com  $r$  negativo. No domínio de ATE, em 2004 e

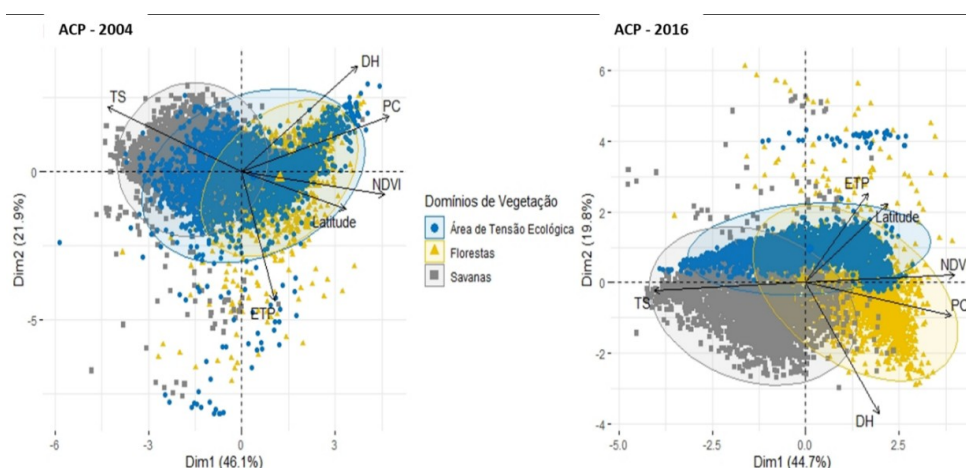
2016 as variáveis apresentaram correlações negativas com a TST. Dentre essas, apenas a latitude apresentou significância moderada em 2004 ( $p\text{-value} = 0.01$ ) e 2016 ( $p\text{-value} = 0.04$ ).

**Tabela 1:** Correlação de Pearson ( $r$ ) entre Variáveis de Estudo segundo 1) Domínio de Vegetação e 2) ano de aquisição, para Nível de Confiança de 95% ( $\alpha = 0,05$ ).

Amostra 1	Amostra 2	r (P-value)					
		Florestas (2004)	Florestas (2016)	Savanas (2004)	Savanas (2016)	ATE (2004)	ATE (2016)
NDVI	TST	-0,30 (0,0)	-0,40 (0,0)	-0,56 (0,0)	-0,66 (0,0)	-0,66 (0,0)	-0,67 (0,0)
ETP	TST	-0,13 (0,0)	-0,12 (0,0)	-0,36 (0,0)	-0,45 (0,0)	-0,27 (0,0)	-0,29 (0,0)
PC	TST	-0,08 (0,0)	-0,12 (0,0)	-0,22 (0,0)	-0,53 (0,0)	-0,38 (0,0)	-0,51 (0,0)
DH	TST	0,0 (0,87)	-0,20 (0,0)	0,0 (0,95)	-0,20 (0,0)	-0,19 (0,0)	-0,32 (0,0)
Latitude	TST	0,21 (0,0)	0,21 (0,0)	0,43 (0,0)	0,58 (0,0)	-0,08 (0,04)	-0,05 (0,01)
ETP	NDVI	-0,30 (0,0)	-0,16 (0,0)	0,23 (0,0)	0,38 (0,0)	0,15 (0,0)	0,2 (0,0)
PC	NDVI	0,31 (0,0)	0,36 (0,0)	0,28 (0,0)	0,55 (0,0)	0,53 (0,0)	0,54 (0,0)
DH	NDVI	0,23 (0,0)	0,32 (0,0)	0,12 (0,0)	0,27 (0,0)	0,36 (0,0)	0,37 (0,0)
Latitude	NDVI	0,21 (0,0)	0,18 (0,0)	-0,16 (0,0)	-0,31 (0,0)	0,36 (0,0)	0,28 (0,0)
PC	ETP	-0,02 (0,42)	0,10 (0,0)	-0,01 (0,43)	0,24 (0,0)	-0,02 (0,36)	0,04 (0,05)
DH	ETP	-0,21 (0,0)	-0,23 (0,0)	-0,19 (0,0)	-0,08 (0,0)	-0,25 (0,0)	-0,27 (0,0)
Latitude	ETP	-0,09 (0,01)	-0,13 (0,0)	-0,04 (0,06)	-0,25 (0,0)	-0,02 (0,33)	-0,15 (0,0)
DH	PC	0,72 (0,0)	0,71 (0,0)	0,67 (0,0)	0,67 (0,0)	0,78 (0,0)	0,81 (0,0)
Latitude	PC	0,58 (0,0)	0,38 (0,0)	-0,15 (0,0)	-0,46 (0,0)	0,52 (0,0)	0,42 (0,0)
Latitude	DH	0,47 (0,0)	0,36 (0,0)	-0,07 (0,0)	-0,24 (0,0)	0,41 (0,0)	0,44 (0,0)

Fonte: MOD11A1, MOD13, MOD16 e TRMM, 2004 e 2016. Org.: dos Autores, 2021.

Com a ACP, foi possível observar um padrão de distribuição das amostras entre as variáveis (**Figura 3**). A TST tem padrão contrário em relação as outras variáveis no período de 2004 e 2016. Entretanto, as variáveis DH, NDVI, ETP e PC direcionaram-se para o mesmo padrão de comportamento, indicando maiores correlações entre elas em todos os domínios de vegetação. As amostras de Savanas estão majoritariamente posicionadas com a variável TST. Por outro lado, as Florestas e ATE mostram-se mais distribuídas graficamente nas demais variáveis (NDVI, DH e PC), as quais controlam a dinâmica climática nos domínios de vegetação. Contudo, há padrão das amostras de ATE com seguimento para vetores de DH e PC.



**Figura 3:** Gráfico de ACP com pontos amostrais, variáveis de sensoriamento remoto, e agrupamentos por domínios vegetacionais para 2004 e 2016. DH: Déficit Hídrico; PC: Precipitação; NDVI: Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada; ETP: Evapotranspiração. Fonte: MOD11, MOD13, MOD16 e TRMM, 2004 e 2016. Org.: dos Autores, 2021.

## 5. Discussão

### 5.1. Florestas

A homogeneidade estrutural das coberturas florestais, sobretudo quanto à formação do dossel (contínuo e bem estruturado) (SZTUTMAN; RODRIGUES, 2002), proporcionam menores valores de TST (**Figuras 2a, 2c**). Além disso, as propriedades estruturais das Florestas apresentam relação com os valores relativamente elevados de precipitação (> 1.800 mm) (WANG; PRICE; RICH, 2001; HAO; AGHAKOUCHAK; PHILLIPS, 2013) influenciando na TST. Os pontos amostrais desse domínio estão posicionados principalmente para vetores das variáveis NDVI, DH, ETP e PC (**Figura 3**).

Os valores médios de NDVI em torno de 0,70 para ambos os anos refletem a presença de dossel estruturado (SUZUKI *et al.*, 2011). Além disso, a densidade vegetacional é influenciada pelo balanço hídrico positivo de tais áreas (1304,11 mm e 1087,10 mm em 2004 e 2016), pois a disponibilidade hídrica contribui complementarmente para manutenção das propriedades estruturais, dado seus efeitos sobre as atividades metabólicas na vegetação (EIGENTLER; SHERRATT, 2020). O comportamento entre NDVI, precipitação e déficit hídrico das Florestas (**Figura 3**), com correlações positivas para ambos os períodos corroboram com as afirmativas acima. O fator latitude, por sua vez, pode ter influenciado este comportamento, pois obteve correlação positiva com NDVI, precipitação e déficit hídrico em ambos períodos (**Tabela 1**).

Com relação ao padrão negativo de correlação (fraca negativa) entre evapotranspiração e TST os valores de NDVI indicam que as Florestas tendem a absorver maiores proporções de radiação solar incidente (PARKER; FITZJARRALD; GONÇALVES SAMPAIO, 2019). Maior parte do conteúdo da radiação solar incidente é convertida em fluxo de calor latente e liberado na forma de vapor por evapotranspiração. A evapotranspiração liberada acima do dossel da vegetação umedece a superfície foliar, portanto, decrescendo a TST (GE *et al.*, 2019) e justificando os valores negativos das correlações (**Tabela 1**), seguindo a tendência de Florestas em Zonas Tropicais (ZHANG *et al.*, 2020).

Os resultados confirmam que as Florestas se apresentam como importantes reguladores térmicos, bem como fonte essencial de vapor de água para a atmosfera, contribuindo com os padrões de umidade em escala regional, sendo fundamentais na dinâmica climática (LIU *et al.*, 2020). Alguns estudos em áreas de sistemas florestais no Brasil indicam que a TST se eleva quando convertida em usos antrópicos, como pastagens e culturas agrícolas (QUERIN *et al.*, 2016; WANDERLEY *et al.*, 2019).

Nesses termos, o monitoramento sistemático das Florestas brasileiras tem se demonstrado elementar, principalmente considerando as pressões sofridas por esses ecossistemas frente ao modelo de exploração. Em escala temporal, observou-se menor média de variação de TST para esse domínio. Hansen *et al.* (2013) apontaram que as Florestas Tropicais do Brasil inseridas na Amazônia Legal Brasileira obtiveram decréscimo de 50% no desmatamento entre 2003 e 2012. Tal fato associado ao papel igualmente desempenhado pela Mata Atlântica destaca a relevância da manutenção de monitoramento sistemáticos do Uso e Cobertura do Solo realizado por instituições governamentais (tal como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) ou pela adoção de legislação direcionada (Lei nº 11.428 de 2006).

### 5.2. Savanas

Estruturalmente, os ambientes savânicos possuem descontinuidade na formação do dossel, tendo aspecto herbáceo, espécies decíduas e indivíduos afastados entre si (SANTOS; FERREIRA; FERREIRA, 2011b). Essas características expõem a matriz do solo à incidência da radiação solar, o que consequentemente permite o aquecimento das camadas de ar próximas à superfície e, portanto, a elevados valores de TST. A estrutura das Savanas também afeta o comportamento da evapotranspiração (SENAY; KAGONE; VELPURI, 2020). Os valores médios identificados de TST inferiores nas áreas de Florestas em relação às Savanas, na ordem de 14,18% e 14,31% para 2004 e 2016, apontam justamente essa relação, o que no caso particular das Savanas, interfere na proporção do umedecimento da superfície (COE *et al.*, 2016), portanto, facilitando a elevação da temperatura. Esse comportamento da TST pode ser evidenciado com a distribuição dos pontos amostrais das Savanas na ACP (**Figura 3**), os quais estão concentrados na variável TST, com sentido oposto a DH, PC, NDVI e ETP. Essas variáveis possuem correlação negativa (exceto DH em 2004, com r nulo) com a TST (**Tabela 1**), auxiliando a explicitar os elevados valores termais nas Savanas.

O aumento da TST para ambientes savânicos influencia na difusão de fluxos de calor sensível, promovendo o aquecimento do ar. Em contrapartida, é importante mencionar que esses sistemas mesmo apresentando maiores temperaturas que em áreas florestadas, são fundamentais para o equilíbrio do balanço



energético, pois possuem elevado albedo de superfície (comparado aos sistemas florestais) e fomentam a perda de energia para o espaço sideral (VELDMAN *et al.*, 2019).

Possíveis conversões de estratos savânicos para sistemas antrópicos com baixa (ou nula) densidade de biomassa pode forçar o desequilíbrio energético dos ambientes, sobretudo, considerando que esta condição tende a elevar a reflexão de energia por ondas curtas (OTTERMAN, 1977; CAIONI *et al.*, 2020) e a emissão por ondas longas, principalmente em função do aumento da TST (SOUZA *et al.*, 2015). Essa é uma preocupação recorrente para as Savanas brasileiras, exemplificado pelo bioma Cerrado, que em poucas décadas perdeu cerca de 50% da cobertura original (WERNECK *et al.*, 2012), principalmente frente às pressões dos sistemas agropastoris (BEUCHLE *et al.*, 2015; RODRIGUES *et al.*, 2019). Outro exemplo são as Caatingas, que desde o século XVII com os avanços da pecuária, vêm passando por processos predatórios quanto ao uso da terra (FERNANDES *et al.*, 2015). Estudos recentes mostraram que em áreas de Savanas no Brasil, há aumento na TST quando esses ambientes são convertidos em domínios antrópicos (MARONEZE *et al.*, 2014; PEREIRA; MARIANO; CABRAL, 2016).

Chama-se atenção para outro aspecto recorrente no âmbito das Savanas, tendo-se em vista que a alteração no campo térmico não se restringe ao aumento de TST. É preciso se atentar também aos decréscimos de temperatura como observado na **Figura 2a**, em que houve menor valor mínimo de  $\Delta TST$  negativa para as Savanas (-5,92 °C). As Plantações de Eucalipto podem ser apontadas como uma das responsáveis por este declínio de TST. Leite *et al.*, (2019) observaram que a evapotranspiração desses sistemas é superior em relação a outros estratos vegetacionais, e isso tende a decrescer a temperatura de superfície.

As alterações no âmbito das Savanas brasileiras norteiam variações importantes no campo térmico com aumento e diminuição. Portanto, menciona-se que tais alterações podem afetar o equilíbrio energético em escala regional, e por isso é pertinente ações governamentais para o monitoramento dos biomas com aspectos savânicos.

### 5.3. Áreas de tensão ecológica (ATE)

Caracterizadas por serem contatos principalmente entre os domínios savânicos e florestais (IBGE, 2004), a TST nesses ambientes registrou correlação negativa com as demais variáveis. As ATE podem seguir a dinâmica das Florestas e Savanas quanto aos aspectos biofísicos, pois as áreas de contatos entre dois biomas apresentam compartilhamento das características climáticas (evapotranspiração, disponibilidade de luz, temperatura, desacoplamento) de ambos (JÚNIOR *et al.*, 2009; DE ANDRADE; DE AMORIM, 2020).

Temporalmente, o aumento da TST nos ambientes de ATE seguiu o padrão das Savanas e Florestas, isso reflete às flutuações térmicas observadas nessas fitofisionomias de 2004 a 2016, obtendo padrão intermediário da TST, se comparado com os demais domínios estudados. O comportamento intermediário de TST na ATE pode ser observado na distribuição dos pontos amostrais na ACP (**Figura 3**), onde os pontos se distribuem com concentração no vetor de TST. No entanto, possuem distribuição para os vetores DH, NDVI, PC e ETP, fatores que moderam as variações térmicas, como visto nas Florestas. Mesmo tendo padrão intermediário, a TST da ATE é superior em relação às Florestas, o que pode ser explicado pelas correlações negativas entre DH, NDVI, PC e ETP em 2004 e 2016 (**Tabela 1**).

Quanto às ações antrópicas, esses ambientes vem passando por conversões sistemáticas no uso e cobertura da terra ( GALVÍNCIO; DE MOURA; SÁ, 2010; DELMON *et al.*, 2013) o que é substancial para a alteração de parâmetros biofísicos (TARTARI *et al.*, 2015). De maneira geral, as áreas de ATE não possuem especificações quanto à proteção ambiental, estando, portanto, inseridas vagamente no âmbito de outras legislações tais como: Código Florestal (**Lei N° 12.651/ 2012**) e lei da Mata Atlântica (lei N° 11.428/ 2006). Por representarem extensas áreas no território nacional (149.474 km<sup>2</sup>), alterações não controladas da dinâmica de uso e cobertura do solo podem desencadear efeitos no contexto climático regional, sobretudo considerando os padrões de mudança na paisagem e aumento na TST mantiverem-se em projeções futuras (FINDELL *et al.*, 2017). Portanto, cita-se a importância de monitoramentos em ambientes de Tensão Ecológica no Brasil, sobretudo que façam levantamentos detalhados e sequenciais dessas extensões a fim de obter informações que variam no espaço e no tempo.

## 6. Considerações finais

Em todos os domínios vegetacionais, houve aumento da temperatura de superfície terrestre/continental nos anos de 2004 e 2016. Os maiores aumentos de  $\Delta TST$  foram nas áreas de Savanas e Área de Tensão Ecológica, enquanto as Florestas registraram os menores valores. Portanto, as Savanas e ATE apresentaram

menor capacidade de atenuar o efeito do aumento da temperatura de superfície. Os domínios vegetacionais influenciam diferentemente as variáveis biofísicas como TST, NDVI, evapotranspiração, e sofrem influência de padrões externos, como precipitação e déficit hídrico e posição latitudinal. Para todos os domínios, a TST apresentou correlação de Pearson negativa para com o NDVI, evapotranspiração, precipitação e déficit hídrico, mostrando a relação inversa entre esses parâmetros e a variável estudada (TST). De modo geral, as variáveis biofísicas controlam o padrão da TST nos domínios de vegetação do Brasil.

Este trabalho é pioneiro na análise do padrão da TST nos domínios de vegetação do Brasil, contribuindo no contexto científico sobretudo por abordar relações biofísicas dos domínios de vegetação em dimensões continentais. Contudo, é preciso enfatizar que este estudo se trata de um ensaio, pois abarca apenas dois anos de análise.

Metodologicamente, novos estudos podem avançar na temática abordada nesse trabalho, sobretudo com maior densidade temporal, fornecendo informações ano a ano sobre os padrões de TST. Contudo, nesses trabalhos futuros, espera-se análises estatísticas que confirmem relações causais entre as variáveis biofísicas e a TST nos domínios de vegetação. Ainda nessa perspectiva, outros estudos podem inserir mapeamentos de uso e cobertura da terra em escala mais detalhada para observarem os efeitos das ações antrópicas no padrão da TST no Brasil.

## Referências

AB'SABER, A. N. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. **Geomorfologia PP - São Paulo**, n. 20, p. 1–26, 1970.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 1, p. 63–74, 2007.

ARANTES, A. E.; FERREIRA, L. G.; COE, M. T. The seasonal carbon and water balances of the Cerrado environment of Brazil: Past, present, and future influences of land cover and land use. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 117, p. 66–78, 2016.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, tempo e clima**. Bookman Editora, 2009.

BASTIAANSEN, W. G. M. *et al.* A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212–213, p. 198–212, 1998.

BEUCHLE, R. *et al.* Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, v. 58, p. 116–127, 2015.

BRIGHT, R.; O'HALLORAN, T. Developing a monthly radiative kernel for surface albedo change from satellite climatologies of Earth's shortwave radiation budget: CACK v1.0. **Geoscientific Model Development**, v. 12, n. 9, p. 3975–3990, 2019.

CAIONI, C. *et al.* Droughts amplify differences between the energy balance components of Amazon forests and croplands. **Remote Sensing**, v. 12, n. 3, p. 525, 2020.

CARDOSO DA SILVA, J. M.; BATES, J. M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a tropical savanna hotspot: the Cerrado, which includes both forest and savanna habitats, is the second largest South American biome, and among the most threatened on the continent. **BioScience**, v. 52, n. 3, p. 225-234, 2002.

CARRASCO, R. A. *et al.* Land use/land cover change dynamics and their effects on land surface temperature in the western region of the state of São Paulo, Brazil. **Regional Environmental Change**, v. 20, n. 3, p. 1–12, 2020.

COE, M. T. *et al.* **Feedbacks between land cover and climate changes in the Brazilian Amazon and Cerrado biomes**. AGU Fall Meeting Abstracts. **Anais...**2016

COE, M. T. *et al.* The forests of the Amazon and Cerrado moderate regional climate and are the key to the

future. **Tropical Conservation Science**, v. 10, 2017.

CUNHA, J. *et al.* Surface albedo as a proxy for land-cover clearing in seasonally dry forests: Evidence from the Brazilian Caatinga. **Remote Sensing of Environment**, v. 238, p. 111250, 2020.

DE ANDRADE, F. A. F.; DE AMORIM, L. B. Deposição, Estoque e Decomposição de Serapilheira em Ecótono Caatinga-Cerrado em Oeiras, PI. **Revista SOMMA**, v. 4, n. 2, p. 102–114, 2020.

DELMON, J. M. G. *et al.* Expansão da agricultura em Sorriso/MT de 1988 A 2008. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 1173–1187, 2013.

EIGENTLER, L.; SHERRATT, J. A. Spatial self-organisation enables species coexistence in a model for savanna ecosystems. **Journal of Theoretical Biology**, v. 487, p. 110122, 2020.

EPIPHANIO, J. C. N. CBERS-3/4: características e potencialidades. In: **Proceedings of the Brazilian Remote Sensing Symposium, Curitiba, Brazil**. 2011. p. 90099016.

FARIA, T. DE O. *et al.* Surface albedo in different land-use and cover types in Amazon forest region. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n. 1–13, 2018.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO/UN). **Global Forest Resources Assessment 2020: main report**. Disponível em: <<http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9825en/>>.

FERNANDES, M. R. DE M. *et al.* Mudanças do Uso e de Cobertura da Terra na Região Semiárida de Sergipe. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 472–482, 2015.

FERREIRA, H. V. L. Variação da Temperatura da Superfície Através de Imagens ASTER em Zonas Climáticas Locais da Cidade de Cuiabá, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 393–410, 2020.

FINDELL, K. L. *et al.* Probability of afternoon precipitation in eastern United States and Mexico enhanced by high evaporation. **Nature Geoscience**, v. 4, n. 7, p. 434–439, 2011.

FINDELL, K. L. *et al.* The impact of anthropogenic land use and land cover change on regional climate extremes. **Nature communications**, v. 8, n. 1, p. 1–10, 2017.

FORZIERI, G. *et al.* Response to Comment on “Satellites reveal contrasting responses of regional climate to the widespread greening of Earth”. **Science (New York, N.Y.)**, v. 360, n. 6394, p. 1180–1184, 2018.

FORZIERI, G. *et al.* Increased control of vegetation on global terrestrial energy fluxes. **Nature Climate Change**, v. 10, n. 4, p. 356–362, 2020.

FREDRIKSEN, H.-B.; RYPDAL, M. Long-Range Persistence in Global Surface Temperatures Explained by Linear Multibox Energy Balance Models. **Journal of Climate**, v. 30, n. 18, p. 7157–7168, 2017.

GALVÍNCIO, D. J. D.; DE MOURA, M. S. B.; SÁ, I. B. Cobertura Vegetal e Uso Da Terra na Região Araripe Pernambucana. **Mercator**, v. 9, n. 19, p. 143–163, 2010.

GE, J. *et al.* The Nonradiative Effect Dominates Local Surface Temperature Change Caused by Afforestation in China. **Journal of Climate**, v. 32, n. 14, p. 4445–4471, 2019.

GERTEN, D. *et al.* Terrestrial vegetation and water balance—hydrological evaluation of a dynamic global vegetation model. **Journal of Hydrology**, v. 286, n. 1, p. 249–270, 2004.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, A. **RE and Tatham, RL (2006), Multivariate Data Analysis**. 7. ed. [s.l.] Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2010.

HANSEN, M. C. *et al.* High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. **Science**, v. 342, n.

6160, p. 850–853, 2013.

HANSON, T. *et al.* Warfare in biodiversity hotspots. **Conservation Biology**, v. 23, n. 3, p. 578-587, 2009.  
HAO, Z.; AGHAKOUCHAK, A.; PHILLIPS, T. J. Changes in concurrent monthly precipitation and temperature extremes. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 3, p. 34014, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, **Mapa Climas do Brasil**. 2002. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/climatologia/15817-clima.html?=&t=downloads>>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, **Base Cartográfica Biomas, Primeira Aproximação**. 2004. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/15842-biomas.html?edicao=16060&t=downloads>>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Base Cartográfica Vegetação**. 2006. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/10872-vegetacao.html?=&t=downloads>>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>>.

JÚNIOR, O. B. P. *et al.* Mecanismos de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta de transição Amazônia Cerrado. **Ciência e Natura**, v. 31, n. 2, p. 95–106, 2009.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; LEPERS, E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. **Annual review of environment and resources**, v. 28, n. 1, p. 205-241, 2003.

LEITE, M. E. *et al.* Quantification of water loss by evapotranspiration in different land uses of the River Vieira Basin. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 58, p. 746–764, 2019.

LIU, J. *et al.* Precipitation extremes influence patterns and partitioning of evapotranspiration and transpiration in a deciduous boreal larch forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 287, p. 107936, 2020.

LIU, Z.; BALLANTYNE, A. P.; COOPER, L. A. Biophysical feedback of global forest fires on surface temperature. **Nature communications**, v. 10, n. 1, p. 1–9, 2019.

LN WANDERLEY, R. *et al.* Relationship between land surface temperature and fraction of anthropized area in the Atlantic forest region, Brazil. **PloS one**, v. 14, n. 12, p. e0225443, 2019.

LOARIE, S. R. *et al.* Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil. **Nature Climate Change**, v. 1, n. 2, p. 105–109, 2011.

MAPBIOMAS. **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil**, 2019. 49 p. Disponível em:<<https://s3.amazonaws.com/alerta.mapbiomas.org/relatrios/MBI-relatorio-desmatamento-2019-FINAL5.pdf>>.

MAPBIOMAS. Banco de Dados de Cobertura/ Uso do Solo do Brasil - COLEÇÃO 5.0 - do PROJETO MAPBIOMAS, 2020. Disponível em:<<https://mapbiomas.org/estatisticas>>.

MARONEZE, M. M. *et al.* A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. **Revista Ambiente e Agua**, v. 9, n. 3, p. 445–458, 2014.

MORAES, V. H. *et al.* Use of Remote Sensing in the Evaluation of the Behavior of Biophysical Variables in the Cerrado Biome. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 12, n. 12, p. 36–40, 2018.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

- OLSON, D. M.; DINERSTEIN, E.; WIKRAMANAYAKE, E. D.; BURGESS, N. D.; POWELL, G. V. N. *et al.* Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on earth. **BioScience**, 51, 2001. p. 933–938.
- OTTERMAN, J. Anthropogenic impact on the albedo of the earth. **Climatic Change**, v. 1, n. 2, p. 137–155, 1977.
- PARKER, G. G.; FITZJARRALD, D. R.; GONÇALVES SAMPAIO, I. C. Consequences of environmental heterogeneity for the photosynthetic light environment of a tropical forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 278, p. 107661, 2019.
- PEREIRA, C. C. C.; MARIANO, Z. DE F.; CABRAL, J. B. P. Avaliação Da Temperatura De Superfície Continental (Tsc) E O Uso Da Terra Na Bacia Da Usina Hidrelétrica De Barra Dos Coqueiros (Go), Por Meio Do Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 361–376, 2016.
- PREVEDELLO, J. A. *et al.* Impacts of forestation and deforestation on local temperature across the globe. **Plos One**, v. 14, n. 3, p. e0213368, 2019.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. **Cerrado: ecologia e flora**, v. 1, p. 151-212, 2008.
- ROESCH, L. F. W. *et al.* The Brazilian Pampa: a fragile biome. **Diversity**, v. 1, n. 2, p. 182-198, 2009.
- QUERIN, C. A. S. *et al.* Spatiotemporal NDVI, LAI, albedo, and surface temperature dynamics in the southwest of the Brazilian Amazon forest. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 10, n. 2, p. 1–12, 2016.
- RODRIGUES, T. *et al.* Detection of land cover change in the Brazilian Cerrado using radar data ( Sentinel-1A ). **Sociedade & Natureza**, v. 31, p. 1–20, 2019.
- RUHOFF, A. L. *et al.* A MODIS-based energy balance to estimate evapotranspiration for clear-sky days in Brazilian tropical savannas. **Remote Sensing**, v. 4, n. 3, p. 703–725, 2012.
- SALAZAR, A. *et al.* Deforestation changes land–atmosphere interactions across South American biomes. **Global and planetary change**, v. 139, p. 97–108, 2016.
- SANTOS, N. B. F. DOS; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C. Análise espacial da temperatura de superfície no cerrado: uma análise sazonal a partir de dados orbitais de resolução moderada, para o período de 2003 a 2008. **Cienc. Cult.**, v. 63, p. 30–33, 2011a.
- SANTOS, N. B. F. DOS; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C. Análise espacial da temperatura de superfície no cerrado: uma análise sazonal a partir de dados orbitais de resolução moderada, para o período de 2003 a 2008. **Cienc. Cult.**, v. 63, p. 30–33, 2011b.
- SCHOLZ, F. G. *et al.* Hydraulic redistribution of soil water by neotropical savanna trees. **Tree Physiology**, v. 22, n. 9, p. 603–612, 2002.
- SCHULTZ, P. A.; HALPERT, M. S. Global correlation of temperature, NDVI and precipitation. **Advances in Space Research**, v. 13, n. 5, p. 277–280, 1993.
- SCHULTZ, P. A.; HALPERT, M. S. Global analysis of the relationships among a vegetation index, precipitation and land surface temperature. **Remote Sensing**, v. 16, n. 15, p. 2755–2777, 1995.
- SENAY, G. B.; KAGONE, S.; VELPURI, N. M. Operational Global Actual Evapotranspiration: Development, Evaluation, and Dissemination. **Sensors**, v. 20, n. 7, 2020.
- SENEVIRATNE, S. I. *et al.* Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. **Earth-Science Reviews**, v. 99, n. 3–4, p. 125–161, 2010.
- SOUZA, L. S. B. DE *et al.* Balanço de radiação em ecossistema de Caatinga preservada durante um ano de

seca no semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 41–55, 2015.

SUZUKI, R. *et al.* NDVI responses to the forest canopy and floor from spring to summer observed by airborne spectrometer in eastern Siberia. **Remote sensing of environment**, v. 115, n. 12, p. 3615–3624, 2011.

SZTUTMAN, M.; RODRIGUES, R. R. O mosaico vegetacional numa área de floresta contínua da planície litorânea, Parque Estadual da Campina do Encantado, Pariquera-Açu, SP. **Brazilian Journal of Botany**, v. 25, p. 161–176, 2002.

TARTARI, R. *et al.* Análise de índices biofísicos a partir de imagens TM Landsat 5 em paisagem heterogênea no Sudoeste da Amazônia. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 4, p. 943–953, 2015.

United States Geological Survey (USGS). **Landsat Missions Timeline**. 2021. Disponível em: < <https://landsat.gsfc.nasa.gov/about/landsat-timeline> >. Acesso em maio de 2021.

VELDMAN, J. W. *et al.* Comment on “The global tree restoration potential”. **Science**, v. 366, n. 6463, p. eaay7976, 2019.

WAN, Z. New refinements and validation of the MODIS Land-Surface Temperature/Emissivity products. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 1, p. 59–74, 2008.

WANDERLEY, R. L. N. *et al.* Relationship between land surface temperature and fraction of anthropized area in the Atlantic forest region, Brazil. **PloS one**, v. 14, n. 12, p. 1–19, 2019.

WANG, J.; PRICE, K. P.; RICH, P. M. Spatial patterns of NDVI in response to precipitation and temperature in the central Great Plains. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 18, p. 3827–3844, 2001.

WEINZETTEL, J.; VAČKÁŘ, D.; MEDKOVÁ, H. Human footprint in biodiversity hotspots. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 16, n. 8, p. 447-452, 2018.

WERNECK, F. P. *et al.* Climatic stability in the Brazilian Cerrado: implications for biogeographical connections of South American savannas, species richness and conservation in a biodiversity hotspot. **Journal of Biogeography**, v. 39, n. 9, p. 1695–1706, 2012.

WOOLWAY, R. I. *et al.* Global lake responses to climate change. **Nature Reviews Earth & Environment**, p. 1–16, 2020.

ZHANG, Q. *et al.* Reforestation and surface cooling in temperate zones: Mechanisms and implications. **Global Change Biology**, v. 26, n. 6, p. 3384–3401, 2020.



Este artigo é distribuído nos termos e condições do *Creative Commons Attributions/Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual (CC BY-NC-SA)*.