



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



## Análise da temperatura de superfície em diferentes coberturas do Bioma Pampa

Daniela Wancura Barbieri Peixoto<sup>a</sup>, Patricia Michele Pereira Trindade<sup>a</sup>, Tatiana Mora Kuplich<sup>a</sup>, Claudio Aparecido de Almeida<sup>b</sup>

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - Coordenação Espacial do Sul (COESU), Santa Maria -RS ([daniwbarbieri@gmail.com](mailto:daniwbarbieri@gmail.com)) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - Coordenação Espacial do Sul (COESU), Santa Maria – RS [patriciatrindade.sr@gmail.com](mailto:patriciatrindade.sr@gmail.com); Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - Coordenação Espacial do Sul (COESU), Santa Maria – RS ([tatiana.kuplich@inpe.br](mailto:tatiana.kuplich@inpe.br)) Divisão de Projetos Estratégicos 1 (DIPE1), São José dos Campos - SP, Brasil ([claudio.almeida@inpe.br](mailto:claudio.almeida@inpe.br))

Artigo recebido em 17/05/2021 e aceito em 13/02/2022

### RESUMO

O objetivo da presente pesquisa foi descrever e analisar as características térmicas de diferentes coberturas da terra, incluindo os tipos de campo, do bioma Pampa, a partir de bandas termais TIRS do Landsat 8 nas estações de inverno e verão. Desta forma, foram realizadas três etapas principais: Etapa 1 - obtenção dos dados de temperatura de superfície (TS) e índices de vegetação a partir de imagens Landsat 8, sensores TIRS e OLI; Etapa 2 – definição dos pontos para interpretação e análise; Etapa 3 - análise dos resultados quanto a TS nas diferentes classes de cobertura da terra (área de cultivo, campo e vegetação arbórea) e tipologias campestres (Campos arbustivos, Campos litorâneos, Campos Mistos de andropogoneas e compostas, Campos com barba de bode, Campos com solos rasos, Campos com areais, Campos mistos do cristalino oriental, Campos gramíneos e Campos com espinilho). Ao analisar as imagens TIR verificou-se que a TS variou de 10°C à 44°C, com mínimas registradas em agosto e máximas em dezembro. Para os tipos de cobertura estudados verificou-se que suas temperaturas diferiram estatisticamente entre si com  $\alpha 0,05$ , sendo que as áreas de cultivo chegaram a apresentar temperatura superior em até 6°C em relação à vegetação arbórea e 2,8°C em relação ao campo. Concluímos que, as imagens termais também podem auxiliar em pesquisas sobre o Bioma Pampa, pois apresentam as características térmicas das diferentes coberturas e facilitam a identificação de áreas que sofrem mudanças significativas de TS em esquemas de monitoramento.

Palavras – chave: Imagens termais; Cobertura vegetal; Tipologias campestres; Monitoramento ambiental.

## Surface temperature analysis in different Pampa Biome covers

### ABSTRACT

The aim of this research was to describe and analyze the thermal characteristics of different land cover types, including grassland typologies, from the Pampa biome, using Landsat 8 TIRS thermal bands in the winter and summer seasons. Thus, three main steps were performed: (1) estimating land surface temperature (LST) and vegetation indices from Landsat 8 images, TIRS and OLI sensors; (2) defining samples for interpretation and analysis; (3) analysing LST in the different land cover classes (crops, grassland and forest) and grassland typologies (Shrubby grasslands, Coastal grasslands, Andropogoneae and asteraceae mixed grasslands, Aristida spp. grasslands, Shallow soils grasslands, Sandy grasslands, Eastern Crystalline mixed grasslands, Grassy grasslands and Vachellia caven grasslands). LST ranged from 10°C to 44°C, with minimum recorded in August and maximum in December. The different land cover temperatures' differed statistically from each other ( $\alpha=0.05$ ), with crops presenting temperatures at up to 6°C higher in relation to forests and 2.8°C higher in relation to grasslands. We conclude that thermal images are important for research on the Pampa Biome, as they allow following thermal characteristics of different land covers and pointing out areas that undergo LST significant changes in monitoring schemes.

Keywords: Thermal images; vegetation cover; grassland typologies; environment monitoring.

### Introdução

O mapeamento de cobertura da terra com dados de sensoriamento remoto (SR) é tarefa cada vez mais necessária, dada a premência de ações para conhecer os ciclos ambientais naturais e antrópicos, para a modelagem e previsão de

cenários futuros, considerando as diferentes escalas espaciais e temporais destes ciclos. A variedade de dados de SR orbital, que inclui bandas adquiridas na faixa óptica, do infravermelho (refletido e emitido) e das microondas do espectro eletromagnético facilita a discriminação de

coberturas da terra em estudos de mapeamento e monitoramento ambientais.

Para vegetação campestre, o SR vem dando suporte a resultados que descrevem o estado de conservação, produtividade e fenologia da vegetação, assim como a identificação de perturbações condicionadas aos elementos climáticos. O uso de imagens de satélite possibilita conhecer, avaliar e monitorar de maneira eficaz e de modo contínuo os processos dinâmicos da vegetação (Sun e Schulz, 2015; Moreira, 2018, Almeida et al., 2020). A utilização de imagens multitemporais pode auxiliar no processo de monitoramento da vegetação (Kayser e Ruhoff, 2019; Chi et al., 2020; Chen et al., 2021; Mardian et al., 2021; Trentin et al., 2021; Sardooi et al., 2021).

O sensoriamento remoto na faixa do infravermelho térmico (TIR) pode ser utilizado para estimativas de temperatura de superfície, (Käfer et al., 2020, Sardooi et al., 2021), que, por sua vez, gerencia muitos processos biofísicos na interface terra-atmosfera. A temperatura de superfície (TS) é um parâmetro fundamental para a modelagem ambiental (Hutengs e Vohland 2016), sendo um dos dados de entrada para modelos de processos que ocorrem na superfície da terra, como a evapotranspiração, que é considerada em estudos ecológicos, agrícolas e meteorológicos (Cristóbal et al., 2018; Courault et al., 2005). Os dados termais também podem auxiliar no mapeamento de cobertura da terra a partir de diferentes classificadores (John et al., 2020; Mehta et al., 2021; Trindade et al., 2021a, Trindade et al., 2021b).

A vegetação campestre nativa ocupa apenas 40% do bioma Pampa no estado do Rio Grande do Sul (Ribeiro et al., 2021), sendo constituído por mais de 2.200 espécies em sua flora, com o predomínio de aproximadamente 150 espécies de leguminosas e 450 de gramíneas forrageiras. O desenvolvimento dessa vegetação está relacionado a fatores como altitude, latitude, longitude, características do solo e condições meteorológicas ao longo do ano (Rubert et al., 2018, Boldrini, 2009, Nabinger et al., 2009). Diferentes estudos têm sido conduzidos no bioma Pampa com a proposta de compreender as características fenológicas associadas a condições meteorológicas no contexto de mudanças climáticas (Mengue et al., 2019, Moreira et al., 2019, Moreira et al., 2018 Mengue et al., 2018, Fontana et al., 2018, Käfer et al., 2020). Outros estudos (Mukherjee et al., 2014 e Shirmbeck et al., (2017) apresentam a relação vegetação/TS na detecção de mudanças na cobertura da terra.

Aumento de acurácia na classificação de cobertura da terra também foi relatado com o uso de dados de TS (Sun e Schulz, 2015; Zhao et al., 2019; Abdalkadhum et al., 2020; Al-Doski et al., 2020), inclusive para estudos no bioma Pampa (Kafer et al., 2020; Trindade et al., 2021a; Trindade et al., 2021b). As características térmicas dos campos nativos foram exploradas por Shirmbeck et al., (2017) e Kafer, (2020) entretanto, ainda não foram realizados estudos detalhados com dados de TS sobre os diferentes tipos de campo e demais coberturas vegetais do bioma Pampa.

A alteração das coberturas vegetais acarreta mudanças no microclima, as quais são importantes de serem investigadas e quantificadas, dadas as possíveis consequências locais e regionais (Schirmbeck et al., 2017; Souza et al., 2019). A detecção de mudanças nas coberturas dos campos será facilitada com a inclusão de dados de TS em esquemas de classificação, já que a estrutura, diversidade e riqueza de espécies presentes nos dosséis campestres, indicadores do estado de conservação, influenciam diretamente os valores de TS (Trindade et al. 2021b, Guimarães-Steinicke et al., 2021).

Desta forma, o objetivo da presente pesquisa foi descrever e analisar as características térmicas das diferentes coberturas da terra, incluindo os tipos de campo, do bioma Pampa, a partir de bandas termais TIRS do Landsat 8 nas estações de inverno e verão.

## Material e métodos

Área de estudo - Para o desenvolvimento dos procedimentos metodológicos, selecionou-se nove células como áreas teste no Pampa brasileiro (Figura 1), correspondendo a aproximadamente 5% do bioma.

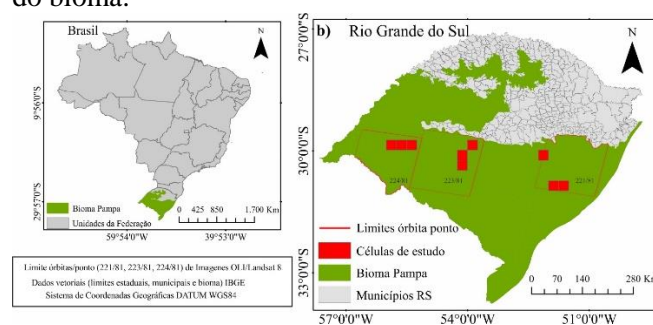


Figura 1. Localização da área de estudo: a) Localização do Pampa Brasileiro; b) Localização das órbitas ponto e células de estudo no Bioma Pampa.

Fonte: Trindade et al., 2021.

O Pampa é um dos biomas mais alterados do país (Embrapa, 2016), principalmente por atividades antrópicas como cultivos agrícolas e silvicultura. Sua vegetação natural é caracterizada pelo predomínio de campos com a presença de gramíneas, leguminosas e vegetação arbustiva, com mais de 2.200 espécies (Boldrini 2009). O bioma apresenta a coexistência de duas espécies de gramíneas dos grupos fotossintéticos C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>. O grupo C<sub>3</sub> tem seu período de crescimento nas estações frias, já o grupo C<sub>4</sub> apresenta o aumento de biomassa nas estações quentes do ano (Boldrini, 2009; Nabinger et al., 2009).

Historicamente, o principal modelo de ocupação do bioma foi a pecuária extensiva, principalmente na metade sul do RS (MMA, 2019). A partir do século XX ocorreu a implantação da agricultura intensiva, destacando a produção de grãos como o arroz irrigado nas áreas de várzeas. No início do século XXI começou a elevada expansão da silvicultura e cultivo de soja. Essas atividades juntamente com exploração de recursos minerais, extrativismo predatório, introdução de espécies exóticas invasoras e a própria urbanização sem planejamento contribuem para a modificação da paisagem natural do Pampa, ameaçando sua flora e fauna (Overbeck et al., 2015; Chomenko, 2016).

O clima no RS de acordo com Sartori (2016) apresenta sazonalidade dos sistemas atmosféricos regionais que é responsável pela gênese dos estados de tempo, que caracterizam o clima ao longo do ano, em especial na sua região central. Os fatores de natureza dinâmica associados aos de natureza geográfica, especialmente latitude, altitude, relevo, continentalidade e vegetação, determinam os atributos climáticos básicos que caracterizam a região central. Com base nas Normas Climatológicas, Sartori (2016) afirma que na região as temperaturas no inverno variam entre 7 e 15°C e no verão de 24 a 32°C, as temperaturas médias anuais variam entre 16 °C e 18 °C no topo do Planalto, predominam os ventos de Leste, os ventos Norte, apesar de pouco frequentes e de curta duração. Na região da Campanha, localizada a oeste do RS o clima da região demonstra certas tendências para a continentalidade, é considerada a parte mais quente do Estado, com precipitações em torno de 1.400 mm. Sartori (2016) afirma que na região litorânea (leste do RS) a temperatura média do mês mais quente (janeiro) é superior a 22°C, provocadas pelo superaquecimento continental das Massas Polares (Polar Velha) ou em menor frequência, por influência de massas tropicais (MTA ou MTC).

De acordo com Buriol et al., (2019), as condições climáticas encontradas no RS são favoráveis à formação de vegetação natural do tipo floresta subtropical e temperada, no entanto, em torno de 46,3% da vegetação natural é de campo, consequência do pastejo e atividade pecuária. Os campos do RS foram classificados em dez tipologias campestres por Hasenack et al., (2010), de acordo com sua localização geográfica e características florísticas da vegetação. No bioma Pampa foram definidos os Campos arbustivos (CAR), Campos litorâneos (CLI), Campos Mistos de andropogôneas e compostas (CMAC), Campos com barba de bode (CBB), Campos com solos rasos (CSR), Campos com areais (CCA), Campos mistos do cristalino oriental (CMC), Campos gramíneos (CGR) e Campos com espinhinho (CCE).

## Material

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizadas nove cenas do Satélite Landsat 8, sensores OLI e TIRS referente às datas: 06/02/2018, 17/08/2018 e 07/12/2018 (órbita ponto 224/81); 15/02/2018, 26/08/2018 e 16/12/2018 (órbita ponto 223/81); e 13/01/2017, 25/08/2017 e 15/12/2017 (órbita ponto 221/81). As imagens foram provenientes do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) nas bandas 2 (azul 0.45 – 0.515 µm), 3 (verde 0.525 – 0.600 µm), 4 (vermelho 0,630 – 0,680 µm), 5 (infravermelho próximo 0.845 – 0.885 µm), 6 (infravermelho médio 1.560 – 1.660 µm) e 7 (infravermelho médio 2.100 – 2.300 µm) em reflectância de superfície (SR) do sensor OLI e na banda 10 (infravermelho termal 10.30 – 11.30 µm) do sensor TIRS em temperatura de brilho (TB). Os dados vetoriais corresponderam ao limite do bioma Pampa (IBGE) e delimitações das tipologias campestres (Hasenack et al., 2010).

## Procedimentos metodológicos

A presente pesquisa foi dividida em 3 etapas: Etapa 1 - obtenção dos dados de temperatura de superfície (TS) e índices de vegetação; Etapa 2 – definição dos pontos para interpretação e análise; Etapa 3 - análise dos resultados quanto a TS nas diferentes classes de cobertura da terra e tipologias campestres.

Processamento imagens termais- Os procedimentos para cálculo de temperatura de superfície foram realizados de acordo com a

metodologia apresentada por Ndossi e Avdan (2016), considerando os valores de emissividade de superfície (Equação 1). A imagem de emissividade foi obtida a partir da relação com o índice de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Equação 2), conforme metodologia apresentada na Tabela 1 (Van De Griend e Owe, 1993; Valor e Caselles, 1996; Sobrino, Jiménez-Muñoz, e Paolini, 2004; Zhang, Wang, e Li, 2006)

$$TS = T_b / (1 + (\lambda T_b / a) * \ln \epsilon) \quad \text{Equação 1}$$

T<sub>b</sub> = temperatura de brilho registrada pelo sensor em Kelvin; λ = comprimento de onda médio do infravermelho termal; α = hc/K = 1.438 x 10<sup>-2</sup> m K, onde: K = constante de Stefan-Boltzman (1.38 x 10<sup>-23</sup>J/K); h = constante de Planck (6.28 x 10<sup>-34</sup>J/s); c = velocidade da luz (2.998 x 10<sup>8</sup>m/s);

$$NDVI = (b_5 - b_4) / (b_5 + b_4) \quad \text{Equação 2}$$

Onde: b<sub>5</sub> = banda do infravermelho próximo; b<sub>4</sub> = banda do vermelho.

Tabela 1. Algoritmo para cálculo de emissividade baseado no NDVI

Valores NDVI	Valores Emissividade
NDVI < -0.185	0.995
-0.185 ≤ NDVI < 0.157	0.985
0.157 ≤ NDVI ≤ 0.727	1.009 + 0.04 x ln(NDVI)
NDVI > 0.727	0.990

.Fonte: adaptado Ndossi e Avdan (2016).

A emissividade (e) representa a relação entre a radiância real emitida por um objeto no mundo real (M<sub>r</sub>) e um corpo negro a mesma temperatura cinética (M<sub>b</sub>). Pode, ser entendida como a capacidade de um material em transformar o seu calor em radiação termal. Um corpo negro teórico apresenta emissividade igual a 1. Os diferentes alvos terrestres como vegetação, solo, água não são emissores perfeitos, emitem menor ou maior quantidade de energia em diferentes comprimentos de onda, sendo que suas emissividades variam em 0 a 1. Desta forma, torna-se importante saber a emissividade dos materiais em estudos de sensoriamento termal para trabalhar com a temperatura real dos objetos. A justificativa é que dois objetos no terreno podem apresentar a mesma temperatura real no terreno, mas diferentes temperaturas aparentes medida por sensores termais, pois suas emissividades são diferentes. A emissividade dos materiais pode variar de conforme sua cor, composição química, teor de umidade e rugosidade da superfície (Jensen, 2009; Lorenzetti, 2015).

Definição de pontos de interpretação e análise - Nesta etapa, foram distribuídos pontos aleatórios de forma regular sobre as células de estudo, compreendendo 1354 pontos com distanciamento de 1,5 Km, garantindo uma distribuição espacial

adequada quanto à inclusão das classes de cobertura da terra e tipologias campestres presentes em cada cena. Assim, cada ponto foi interpretado para identificar o tipo de cobertura existente considerando imagens de alta resolução da ferramenta Google Earth, Imagens Landsat 8 com diferentes composições e estações do ano e dados de desmatamento 2016/2018 disponíveis na Plataforma TerraBrasilis (Assis et al., 2019, Almeida, 2020). Desta forma, foram definidas três classes de cobertura da terra: campo, vegetação arbórea e área de cultivo. Conforme as células selecionadas e os pontos de análise, foram encontradas seis tipologias campestres: campos arbustivos (CAR), campos com areas (CCA), campos com espinilho (CCE), campos de solos rasos (CSR), campos litorâneos (CLI) e campos mistos de andropogoneas e compostas (CMAC).

Análise dos dados - Os dados foram organizados em tabelas, sendo associado a cada ponto de análise as informações referentes ao tipo de cobertura da terra (interpretação dos autores), tipologia campestre (Hasenack et al., 2010) e Temperatura de superfície - TS - (banda 10 TIR - inverno (agosto) e verão - janeiro/fevereiro e dezembro). Desta forma, foram calculadas as estatísticas descritivas dos valores de TS para as classes campo, vegetação arbórea e cultivo agrícola, bem

como para as seis tipologias campestres presentes na área de estudo, considerando as variações entre as estações de inverno e verão. Para a verificar se as diferenças da TS entre as três classes de cobertura e as seis tipologias campestres eram estatisticamente significativas, foram definidas combinações entre os dados (Tabela 2) e aplicados

os testes de hipóteses para comparação entre médias de duas amostras independentes (Calegari-Jaques, 2003), considerando a distribuição t de Student e nível de significância  $\alpha = 0,05$ .

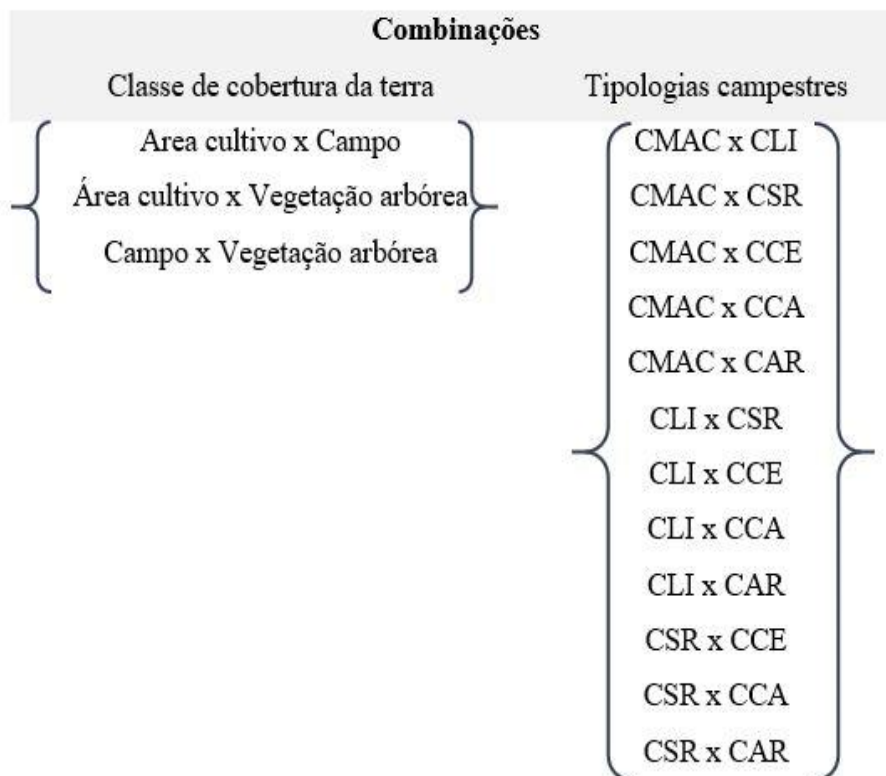


Figura 2. Combinações para as comparações entre os valores de TS nas diferentes classes de cobertura da terra e tipologias campestres.

### Resultados e discussão

Temperatura de superfície nos diferentes tipos de cobertura da terra - Ao analisar as imagens TIR verificou-se que a TS variou de 10°C à 44°C entre as três classes de cobertura da terra, com mínimas registradas em agosto e máximas em dezembro. Na Figura 3 a, é possível verificar que os valores de temperatura nas cenas de janeiro/fevereiro não ultrapassaram os 33°C, sendo que, as células da órbita ponto 224/81 apresentaram os maiores intervalos de temperatura e distribuição mais homogênea. Nas imagens de inverno (Figura 3 b), o intervalo de temperatura que mais ocorreu foi de 12°C à 27°C. A órbita ponto 223/81 apresentou distribuição mais homogênea e os menores valores de temperatura. Nas imagens de dezembro (Figura 3 c), foi possível verificar que os maiores valores de temperatura variaram de 21°C à superior a 39°C. A partir da análise visual das imagens pode-se

verificar maior heterogeneidade na distribuição da TS em relação às demais datas estudadas, sendo que temperatura mais elevada foi verificada na órbita ponto 221/81.

As diferenças de TS podem ser justificadas principalmente pelas diferenças no ciclo fenológico das coberturas vegetais presentes na área de estudo. Em dezembro, as áreas de cultivo estão em preparo de solo, com ausência de vegetação, as áreas de campo apresentam suas tipologias típicas e a vegetação arbórea não varia muito em relação às demais estações. Desta forma, as diferenças nas coberturas da terra caracterizam maior heterogeneidade na distribuição da temperatura de superfície, com áreas mais quentes (área de cultivo – solo exposto), áreas de temperatura intermediária (campo) e superfícies mais frias (vegetação arbórea). Diferentes estudos (Deng et al., 2018; Käfer et al., 2020; Sardooi et al., 2021) mostraram uma correlação negativa entre a

TS e índices de vegetação, pois esses índices representam a quantidade de biomassa nas imagens. Assim, quanto maior os valores dos

índices, maior biomassa disponível, menor a temperatura de superfície.

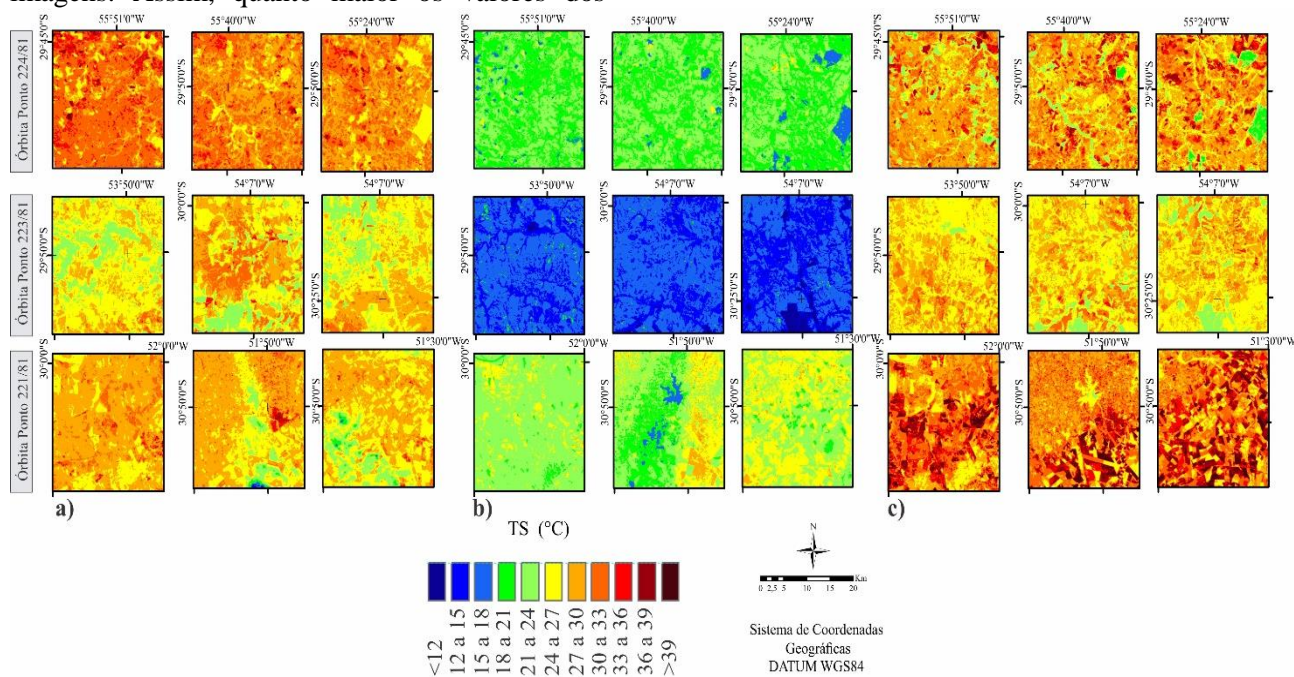


Figura 3. Variação da temperatura de superfície: a) imagens janeiro/fevereiro; b) imagens agosto; c) imagens dezembro

As áreas de cultivo apresentaram temperatura média de aproximadamente 27°C nas imagens de janeiro/fevereiro (Figura 3), menor temperatura média em agosto (20,91°C) e maior temperatura média na imagem de dezembro (31,45°C). Os valores de temperatura máxima chegaram a 44°C em dezembro, já o valor mínimo de 11,6° C foi registrado em agosto. As áreas de cultivo apresentaram maior variação da temperatura nos meses de agosto e dezembro, menor variação em fevereiro.

Pode-se dizer que este padrão da TS segue o padrão sazonal das áreas de cultivo, ou seja, na área de estudo, as culturas de verão são arroz irrigado e soja (Cordeiro et al., 2017). Com o objetivo de cobrir o solo e complemento de pastagem para a pecuária, ocorre a semeadura de pastagens de inverno no início do outono. Na primavera ocorre a preparação do solo a partir de diferentes técnicas de manejo, apresentando áreas com diversas características como, solo exposto (SOSBAI 2014) que justifica a TS mais elevada, principalmente em dezembro (final da estação). No verão, janeiro-fevereiro, os cultivos supracitados apresentam maior vigor vegetativo o que justifica a diminuição da temperatura de superfície.

Assim como nas áreas de cultivo, o campo também apresentou menor valor de TS em

agosto e valores mais elevados nas imagens de verão, este fato se deve às condições meteorológicas características do clima subtropical Fontana et al., (2018) que predominam no bioma. Ao realizar uma caracterização temporal do índice de vegetação EVI em algumas áreas do Pampa, Mengue et al., (2019) verificaram uma diferença para as estações de inverno e verão, o que pode estar associada com a disponibilidade de radiação solar e temperatura do ar. Comparando os dados das imagens de verão, verificou-se maior temperatura média na imagem de fevereiro (30°C – 224/81) do que na imagem de dezembro (28°C). Em relação à variação da temperatura em coberturas campestres, foi possível verificar que a maior variação foi registrada nas imagens de agosto, diferente dos resultados encontrados em Käfer et al., (2020). No entanto, deve-se considerar que o trabalho desenvolvido pelos autores considerou apenas uma região representativa do bioma Pampa, o que pode ter demonstrado maior homogeneidade no inverno. A presente pesquisa considerou áreas campestres distribuídas em diferentes regiões do RS que apresentam diferenças no padrão de crescimento devido a fatores como a localização, fatores meteorológicos e disponibilidade hídrica (Boldrini et al., 2015; Moreira et al., 2018).

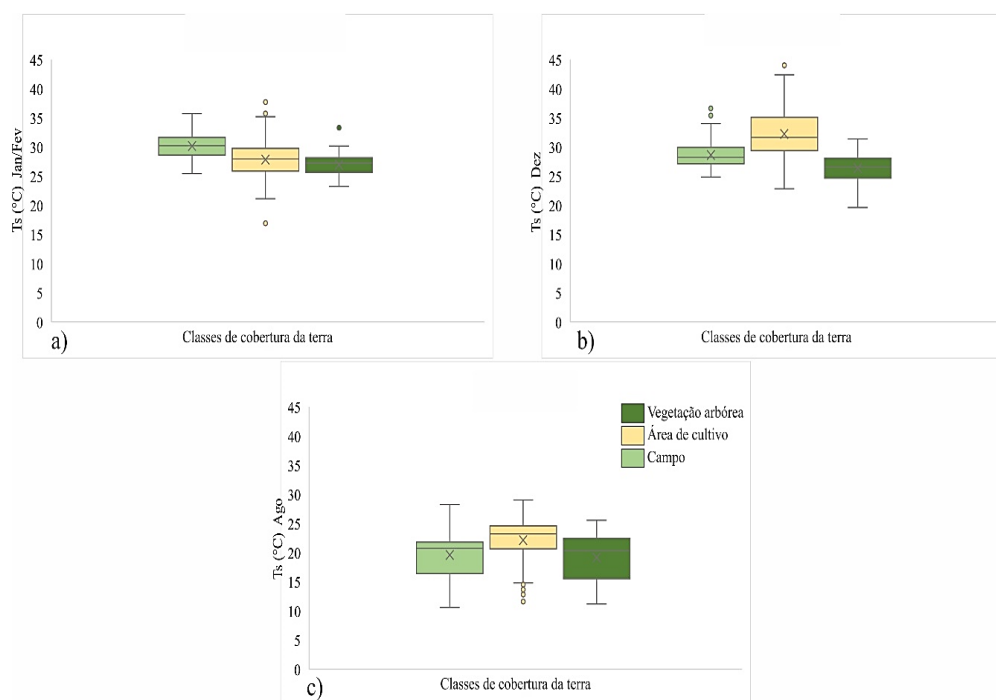


Figura 4. Box plot da Temperatura de superfície para cada classe de cobertura nas imagens de a) janeiro/fevereiro, b) dezembro, c) agosto.

Em áreas com vegetação arbórea, a temperatura média foi de aproximadamente 23°C, com temperatura máxima na imagem de fevereiro (33°C) e menor máxima em agosto com 25°C (223/81). Os valores mínimos variaram de 11°C (agosto) à 23°C (fevereiro). Em relação à variação da temperatura em diferentes áreas com cobertura de vegetação arbórea, verificou-se que a maior variação foi no inverno. Neste trabalho, as áreas cobertas por vegetação arbórea abrangeram tanto florestas nativas quanto floresta plantada (silvicultura), o que pode ter interferido na maior variação da TS no inverno, já que nessa estação do ano os dois tipos de floresta apresentam maior diferença em suas características espectrais. No bioma Pampa, ocorrem as florestas Estacionais Deciduais e Semideciduais IBGE (2004) que apresentam a perda parcial de folhas no período do inverno, diferente das áreas de Silvicultura, geralmente plantações de pinus, que não apresentam perda de folhas.

Sobre a temperatura de superfície nas coberturas de vegetação arbórea, campo e área de cultivo, verificou-se que as médias de temperatura diferem estatisticamente entre si ( $\alpha = 0,05$ ) para todas as datas estudadas. Na imagem de fevereiro, a classe campo apresentou temperatura superior em aproximadamente 2,6°C em relação às áreas de cultivo e 3,6°C em relação à classe vegetação arbórea. A temperatura média das áreas de cultivos

foi superior em 1,08°C em relação à vegetação arbórea. A menor temperatura das áreas com vegetação arbórea é claramente justificada pelo maior vigor vegetativo dessas áreas em relação às áreas de campo e de cultivo. A vegetação rasteira característica dos campos nativos apresentam menor vigor vegetativo e biomassa (além de poderem apresentar áreas de solo descoberto) quando comparados às áreas de florestas ou áreas de cultivo, que nesta época do ano estão em alto desenvolvimento. Ao estudar as características do NDVI e TS em uma área do bioma Pampa, Shirmbeck et al., (2017) também encontraram TS superior em áreas de campo quando comparadas às áreas de cultivo de soja e arroz, chegando a uma diferença de até 6°C.

Nas imagens de agosto e dezembro, as áreas de cultivo apresentaram temperatura superior em relação ao campo (1,5°C – 2,8°C) e à vegetação arbórea (3,5°C – 6,1°C). Novamente, cabe destacar o padrão sazonal do crescimento vegetativo nas áreas de cultivo agrícola da área de estudo. Nos meses de outono e inverno, as áreas de cultivo são cobertas por pastagens, sendo que a partir da primavera, geralmente, o solo fica exposto (principalmente novembro e dezembro) em preparo para o plantio (MAPA, 2019).

Como a TS está fortemente relacionada com o vigor da vegetação, certamente áreas com menor ou ausência de cobertura vegetal apresentam

valores mais elevados. A vegetação, através do processo de transpiração, utiliza o calor do ar para evaporar água, o que colabora para a diminuição da temperatura dos ambientes, somada com a evaporação do solo e áreas adjacentes. Por exemplo, uma vegetação arbórea com alto vigor vegetativo pode retirar até 960MJ de calor por dia em dias quentes. Além de contribuir para a diminuição da temperatura, a evapotranspiração em áreas vegetadas também libera umidade para o ar, trazendo umidade em ambientes muito secos e completando o ciclo hidrológico (Gartland, 2010).

Temperatura de superfície nos diferentes tipos de campos- Em relação à variação geral da temperatura de superfície nas seis tipologias campestres estudadas, verificou-se que os valores mais elevados de TS ocorreram nos campos de solos rasos CSR (32,03°C – fevereiro), CCA (29,89°C – dezembro) e CLI (24,26°C – agosto). Em contrapartida, os menores valores de TS foram verificados nos Campos Arbustivos (CAR) para todas as datas analisadas (Figura 5).

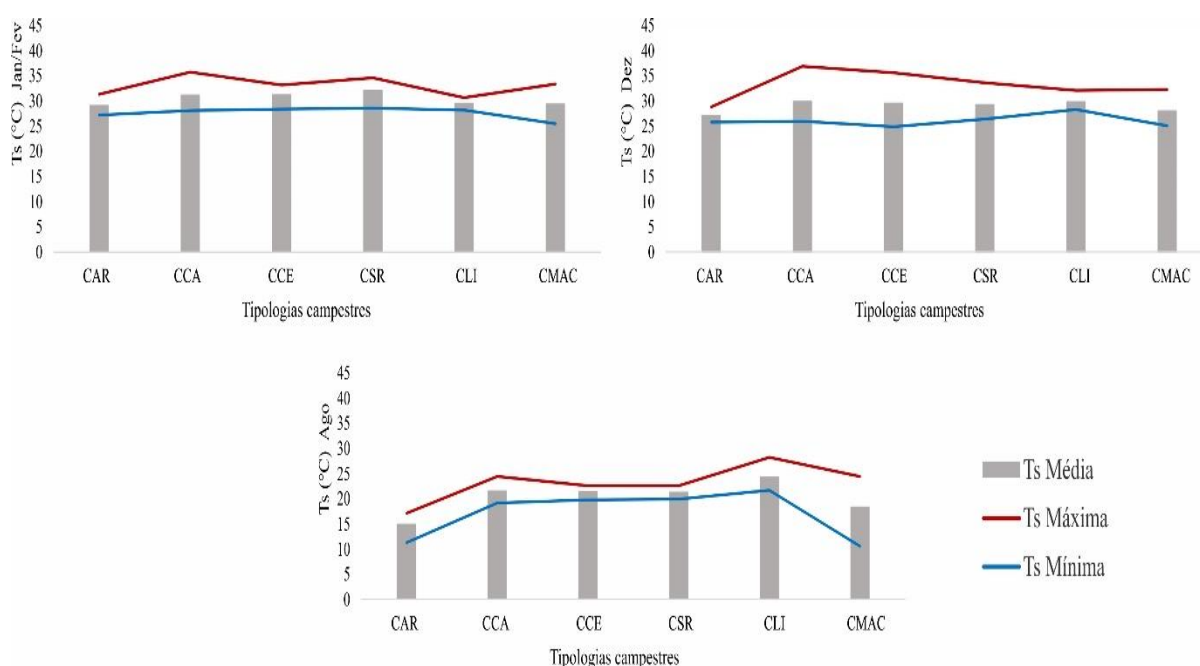


Figura 5. Temperatura de superfície média, mínima e máxima para as seis tipologias campestres.

Na órbita ponto 221/81, localizada na região leste do RS, identificou-se “Campos Litorâneos (CLI)” e “Campos Mistos de Andropogôneas e Compostas - (CMAC)”. O CLI está localizado na unidade geomorfológica da Planície Costeira com solos arenosos e pouco estruturados, com presença de ciperáceas em solos mal drenados e gramíneas em solos bem drenados (Boldrini, 2010). Os campos originais desta região são de porte baixo e foram fortemente reduzidos ao longo dos anos para conversão em outros usos (Overbeck et al., 2015). Nas imagens de fevereiro e dezembro a maior TS ocorreu nos CMAC, já para as imagens de agosto, os CLI apresentaram valor médio superior. Ao identificar padrões de fenologia em diferentes tipologias campestres do bioma Pampa a partir de séries temporais de EVI, Moreira et al. (2019) verificaram uma diminuição

do índice de vegetação para a tipologia CLI nas estações de outono e inverno, o que pode justificar o aumento da TS na imagem de agosto.

Na órbita ponto 223/81, região central do estado, verificou-se os “Campos Arbustivos – (CAR)” e CMAC. A TS média não variou muito entre os as duas tipologias nas imagens de fevereiro e dezembro, em contrapartida, em agosto, os CMAC apresentaram maior TS média (16°C) em relação aos CAR (14,9°C). A tipologia CMAC, embora esteja presente em outras regiões, ocorre principalmente no centro do RS (Boldrini et al., 2010, Hasenack et al., 2010e Overbeck et al., 2015), região composta por vales e rios, com a presença abundante de compostas entremeadas às gramíneas. A vegetação pode ser dividida em dois estratos: um mais alto coberto por gramíneas cespitosas e touceiras; e o estrato mais baixo com



predomínio de gramíneas rizomatosas distribuídas nas encostas das coxilhas. Os campos arbustivos (CAR) estão presentes em solos pedregosos e rasos, em relevo parcialmente acidentado, sendo distribuídos entre vegetação arbórea e arbustiva e leguminosas.

Para as células da região oeste do RS, órbita ponto 224/81, foram identificados os “Campos com Areais – (CCA)”, “Campos com Espinilho – (CCE)”, “Campos de Solos Rasos – (CSR)” e CMAC. A maior TS média foi verificada nos CCA para todas as datas analisadas, sendo que os CMAC apresentaram a menor média para as datas de fevereiro e dezembro, em agosto, verificou-se a menor TS média nos CSR. Os CCA caracterizam-se por cobertura vegetal baixa localizados principalmente em solos arenosos que sofrem processos de erosão, geralmente condicionados a períodos de estiagem e déficit hídrico. Os campos com areais são diferenciados

das demais tipologias, pois apresentam elementos que possibilitam a sua adaptação em ambiente árido. Os CCE localizam-se em áreas planas de baixa altitude, com a presença de espécies menos robustas, estrato interior contínuo com uma vasta diversidade de gramíneas muitas vezes associadas a arvoretas esparsas. Os CSR estão presentes principalmente na Depressão Central do RS, em solos muito rasos, pedregosos e com déficit hídrico no verão (Overbeck et al., 2015; Hasenack et al., 2010).

Uma das indagações da presente pesquisa foi verificar se as seis tipologias campestres estudadas apresentavam diferenças quanto à temperatura de superfície. Para tanto, o teste de hipóteses foi aplicado em doze combinações entre os campos para determinar quais as tipologias apresentavam TS estatisticamente diferentes entre si (Figura 6).

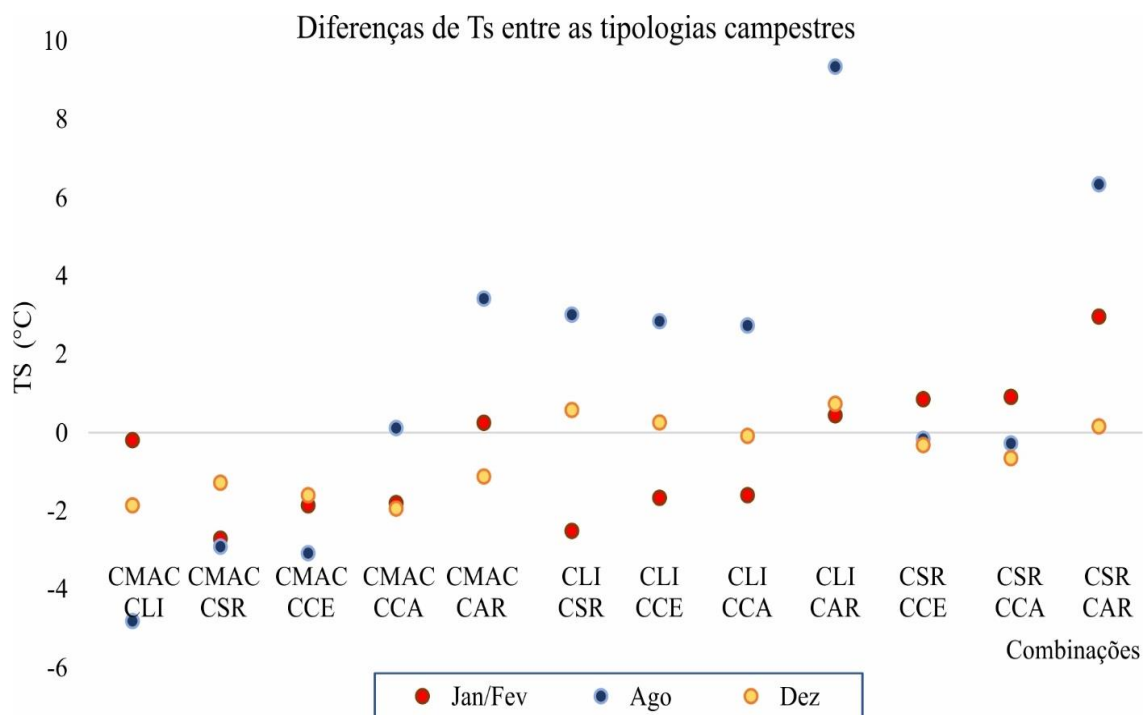


Figura 6. Diferenças de Temperatura de superfície entre as tipologias campestres para as imagens de janeiro/fevereiro, agosto e dezembro.

Em fevereiro, os campos que apresentaram a temperatura de superfície estatisticamente diferentes ( $\alpha = 0,05$ ) foram: CMAC e CSR (2,71°C), CMAC e CCE (1,86°C), CMAC e CCA (1,80°C), CLI e CSR (2,51°C), CLI e CCE (1,61°C), CLI e CCA (1,60°C), CSR e CCE (0,85°C), CSR e CCA (0,91°C) e CSR e CAR (2,95°C). Pode-se dizer que apenas três (CMAC e CLI, CMAC e CAR, CLI e CAR) das doze

combinações não apresentaram a temperatura de superfície estatisticamente diferentes.

Em agosto, os campos que apresentaram a temperatura de superfície estatisticamente diferentes ( $\alpha = 0,05$ ) foram: CMAC e CLI (4,81°C), CMAC e CSR (2,91°C), CMAC e CCE (3,08°C), CMAC e CAR (3,42°C), CLI e CAR (9,34°C), CSR e CCE (0,16°C), CSR e CAR (6,34°C). Para o inverno, cinco (CMAC e CCA, CLI e CSR, CLI e CCE, CLI e CCA, CSR e CCA)

das dozes combinações não apresentaram a temperatura de superfície estatisticamente diferentes.

Para as imagens de dezembro, apenas quatro combinações de campos apresentaram a temperatura de superfície estatisticamente diferentes ( $\alpha = 0,05$ ), a saber: CMAC e CSR (1,28°C), CMAC e CCE (1,60°C), CMAC e CCA (1,95°C), CMAC e CAR (1,12°C).

A presença ou a ausência de diferença de TS entre as tipologias campestres está fortemente ligada à distribuição espacial dos campos no RS, levando em conta as características como altitude, tipo de solo, variáveis meteorológicas, principalmente questões de déficits hídricos. Por exemplo, as tipologias CSR e CCA presentes em áreas com semelhança climática e solos com baixa capacidade hídrica (Boldrini et al., 2010), apresentaram valores mais baixos no índice de vegetação EVI em relação as demais tipologias analisadas em Moreira et al., (2019), confirmando as semelhanças de TS na figura 6.

Assim como o relevo, solo e diferentes formas de manejo dos campos do Pampa, a variabilidade climática é um dos fatores determinantes para a dinâmica das tipologias campestres no RS. O bioma Pampa apresenta elevada amplitude térmica e a precipitação pluvial diminui em direção ao interior do continente e região sul ao longo do ano (Overbeck et al., 2015). Nas estações mais frias, ocorre o aumento de gramíneas do tipo C3 em direção sul do RS. As estações mais quentes favorecem o desenvolvimento de gramíneas C4, que contribuem para o aumento dos índices de vegetação (Overbeck et al., 2015; Boldrini et al., 2015; Moreira et al., 2019). A variação da precipitação pluvial e períodos de estiagem no verão requerem espécies que se adaptam a esse tipo de condição na direção leste-oeste do RS.

A relevância e dinâmica das coberturas do bioma Pampa, é um assunto abordado em diferentes iniciativas, como no Programa de Monitoramento por Satélites da Cobertura da Terra dos Biomas Brasileiros, do INPE, disponível na plataforma TerraBrasilis. Pode-se dizer que o sensoriamento remoto é cada vez mais essencial para a caracterização e gerenciamento dos recursos naturais (Guerini Filho et al., 2020), facilitando a coleta e análise de dados em grandes áreas, como no bioma Pampa. Além da degradação da

vegetação campestre, visível por meio de análise temporal de imagens ópticas e variações de índices de vegetação, o estudo da temperatura de superfície com imagens termais também pode contribuir para caracterização e verificação de mudanças ocorridas nas diferentes coberturas e tipologias campestres do Pampa.

Diferentes pesquisas verificaram o potencial dos dados termais na geração de mapas de cobertura da terra (Zhao et al., 2019; Abdalkadhum et al. 2020; John et al.; 2020; Trindade et al.; 2021a; Trindade et al., 2021b; Mehta et al.; 2021). Zhao et al., (2019) verificaram 1% de aumento na acurácia da classificação com a inclusão da banda termal do Landsat 8. Ao combinar bandas termal e ópticas, Abdalkadhum et al., (2020) atingiram acurácia global de 94% nos mapas classificados. Em estudo realizado em áreas selecionadas do bioma Pampa, Trindade et al. (2021) verificaram aumento de 3% na acurácia de mapas de cobertura da terra com a inclusão da banda termal TIRS Landsat 8. No trabalho de Trindade et al. (2021b), por exemplo, os autores apresentaram os dados de temperatura de superfície como aliados na detecção de incremento do desmatamento da vegetação campestre no bioma Pampa. Além disso, a combinação de índices de vegetação e dados termais são considerados cruciais (Metha et al., 2021) para a análise das mudanças na vegetação em um longo período de tempo.

Aliado a isso, a análise multitemporal também auxilia no processo de monitoramento das coberturas vegetais (Chen et al., 2021; Mardian et al., 2021). Chen et al., 2021 destacam que os padrões espaciais e temporais de uso e cobertura da terra podem ser verificados e monitorados a partir de séries temporais de imagens de satélite. Os autores conduziram sua pesquisa a partir da análise de imagens Landsat para o período de 1984 a 2020, e concluíram que os dados utilizados fornecem um conjunto de informações valiosas para o planejamento regional e avaliação ecológica de sua área de estudo. No estudo de Martian et al., (2021), os autores também destacaram a importância da análise multitemporal para o monitoramento de coberturas campestres nas pradarias canadenses. Desta forma, pode-se dizer que o monitoramento de áreas de campos nativos é uma preocupação discutida globalmente. A partir do sensoriamento remoto é possível verificar as características dessa vegetação e seu estado de conservação.

A utilização de imagens termais permitiu verificar as diferenças de temperatura de superfície entre as coberturas da terra e tipologias campestres

abordadas nesta pesquisa. Para as coberturas de área de cultivo, vegetação arbórea e campo verificou-se que suas temperaturas diferem estatisticamente entre si com  $\alpha$  0,05, sendo que as áreas de cultivo chegaram a apresentar temperatura superior em até 6°C em relação à vegetação arbórea e 2,8°C em relação ao campo.

Em relação às tipologias campestres, verificou-se que os Campos de solos rasos, Campos com Areais e Campos Litorâneos apresentaram maior TS (provavelmente relacionado com a menor cobertura vegetal e maior exposição do solo), e menor valor para os Campos Arbustivos (possivelmente com dosséis mais abundantes). Em relação às diferenças de TS entre os seis tipos de campos analisados, verificou-se que ocorreram diferenças estatisticamente significativas, entretanto, as diferenças variam para cada combinação e estação do ano.

Concluimos que as imagens termais também são importantes para dar suporte em

pesquisas sobre o Bioma Pampa, pois apresentam as características térmicas das diferentes coberturas e facilitam a identificação de áreas que sofrem mudanças significativas de TS em esquemas de monitoramento. Destaca-se que a presente pesquisa é um trabalho inicial sobre a TS no Pampa. Sugere-se estudos adicionais com maiores séries temporais de imagens e a consideração das demais tipologias campestres presentes no Pampa.

### Agradecimentos

Este artigo é um dos resultados do Projeto CNPq 444418/2018-0 (Monitoramento dos biomas brasileiros por satélite - Construção de novas capacidades), que disponibilizou bolsas para as duas primeiras autoras.

### Referências

- Abdalkadhum, A. J., Salih, M M.; Jasim, O. Z., 2020. Combination of visible and thermal remotely sensed data for enhancement of Land Cover Classification by using satellite imagery. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 737, Disponível: doi:10.1088/1757-899X/737/1/012226. Acesso: 08-02-22
- Al-Doski, J., Mansor, S. B.; H'ng Paik, S., Zailani, K. 2020. Improved Land Cover Mapping Using Landsat 8 Thermal Imagery. IOP Conference Series. Earth and Environmental Science; Bristol Vol. 540, Ed. 1, (Jul 2020). Disponível: DOI:10.1088/1755-1315/540/1/012022. Acesso: 08-02-22
- Almeida, C.A., Valeriano, D. M., Maurano, L., Vinhas, L., Fonseca, L. M. G., Silva, D., Santos, C. P. F., Martins, F. S. R. V., Lara, F.C.B., Maia, J.S., Profeta, E.R., Santos, L.O., Santos, F.C.O., Ribeiro, V. 2020. 'Deforestation monitoring in different Brazilian Biomes: challenges and lessons.'In: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume IV-3/W2-2020, 2020, Santiago, Chile. Disponível: DOI:10.5194/isprs-annals-IV-3-W2-2020-47-2020. Acesso: 08-02-22
- Assis, L. F. F. G., Ferreira, K. R., Vinhas, L., Maurano, L., Almeida, C., Carvalho, A., Camargo, C., 2019. TerraBrasilis: A Spatial Data Analytics Infrastructure for Large-Scale Thematic Mapping. ISPRS International Journal of Geo-Information, 8(11), 513. Disponível: doi: 10.3390/ijgi8110513. Acesso: 05-02-22
- Blaschke, T., Lang, S., Lorup, E., Strobl, J., Zeil, P. 2000. "Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications". In: Cremers, A. B. & Greve, K. (Hrsg). Disponível: https://www.researchgate.net/publication/250030480\_Object-Oriented\_Image\_Processing\_in\_an\_Integrated\_GISRemote\_Sensing\_Environment\_and\_Perspectives\_for\_Environmental\_Applications Acesso: 04-02-22
- Boldrini, I. I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. In: Pillar, V.P., Müller, S.C., CASTILHOS, Z.M.S, Jacques, A.V.A. (ed). Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília: MMA, 2009. 403p
- Boldrini, I.I. et al. Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica. Porto Alegre: Pallotti, 2010. 64 p
- Boldrini, I.I., Overbeck, G., Trevisan, R. 2015. Biodiversity of plants = Biodiversidade de plantas. p. 51-56. In: Pillar, V.P., Lange, O., eds. The southern grasslands. Network southern grasslands = Os campos do Sul. Rede Campos Sulinos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil
- Buriol, G. A., Estefane, V., Chagas, A. C. de., 2019. Relação da vegetação natural do Estado do Rio Grande do Sul com as disponibilidades climáticas. Ciência. Florestal. V.29(1). Disponível: DOI:

- <https://doi.org/10.5902/1980509812382> Acesso: 30-01-22
- Callegari-Jacques, S. M. Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artmed, 2003
- Courault, D., Seguin, B., Olioso, A., 2005. Review on estimation of evapotranspiration from remote sensing data: From empirical to numerical modeling approaches. *Irrig. Drain. Syst.* V, 19, 223–249. Disponível: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10795-005-5186-0> Acesso: 30-01-22
- Chen, H., Chen, C., Zhang, Z., Lu, C., Wang, L., He, X., Chu, Y., Chen, J., 2021. Changes of the spatial and temporal characteristics of land-use landscape patterns using multi-temporal Landsat satellite data: A case study of Zhoushan Island, China. *Ocean and Coastal Management* v. 213, p. 1 – 15. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105842> Acesso: 30-01-22
- Chi, Y., Sun, J., Sun, Y., Liu, S., Fu, Z. 2020. Multi-temporal characterization of land surface temperature and its relationships with normalized difference vegetation index and soil moisture content in the Yellow River Delta, China. *Global Ecology and Conservation*, v. 23, p. 1 – 17. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01092> . Acesso: 08-02-22
- Chomenko, L., Bencke, G. A. (org.), 2016. Nosso Pampa desconhecido. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul. 208 p
- Cordeiro, A. P. A., Berlatto, M. A., Fontana, D. C., Melo, R. W., Shimabukuro, Y. E., Fior, C. S., 2017. Regiões homogêneas de vegetação utilizando a variabilidade do NDVI. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.27, n.3, p.883-896, jul.-set. Disponível: DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509828638> Acesso: 30-01-22
- Cristóbal, J., Jiménez-Muñoz, J.C., Prakash, A., Mattar, C., Skoković, D., Sobrino, J.A., 2018. An improved single-channel method to retrieve land surface temperature from the landsat-8 thermal band. *Remote Sens.* 10, 431. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs10030431> Acesso: 30-01-22
- Deng, Y., Wang, S., Bai, X., Tian, Y., Wu, L., Xiao, J., Chen, F., Qian, Q., 2018. Relationship among land surface temperature and LUCC, NDVI in typical karst area. *Scientific Reports*, 8(641). Disponível: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-19088-x> Acesso: 08-02-22
- EMBRAPA. Nosso Pampa desconhecido. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2016. In: Chomenko, L., Bencke, G. A. (Org.) Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E)
- Fontana, D. C., Junges, A. H., Bremm, C., Schaparini, L. P., Mengue, V. P., Wagner, A. P. L., CARVALHO, P., 2018. NDVI and meteorological data as indicators of the Pampa biome natural grasslands growth. *Bragantia*, v. 77, n. 2, p. 404 – 414. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2017222> Acesso: 05-02-22
- Gartland, L. Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010
- Guerini Filho, M., Kuplich, T. M., Quadros, F. L. F. de., 2020. Estimating natural grassland biomass by vegetation indices using Sentinel 2 remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 41, n. 8, p. 2861 – 2876. Disponível: <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1697004> Acesso: 02-02-22.
- Guimarães- Steinicke, C. et al., 2021. Biodiversity facets affect community surface temperature via 3D canopy structure in grassland communities. *Journal of Ecology*, v. 00, p. 1-17. Disponível: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13631> Acesso: 08-02-22
- Hasenack, H., Weber, E., Boldrini, I.I., Trevisan, R., 2010. Mapa de sistemas ecológicos da ecorregião das savanas uruguaias em escala 1:500.000 ou superior e relatório técnico descrevendo insumos utilizados e metodologia de elaboração do mapa de sistemas ecológicos. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Ecologia, The Nature Conservancy. p. 1-22
- Hutengs, C., Vohland, M., 2016. Downscaling land surface temperatures at regional scales with random forest regression. *Remote Sensing of Environment*, 178, 127-141. Disponível: DOI:10.1016/j.rse.2016.03.006 Acesso: 02-02-22
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA., 2004. Mapa da Vegetação do Brasil. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Rio de Janeiro. Disponível: [https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/vegetacao/mapas/brasil/vegetacao.pdf](https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/mapas/brasil/vegetacao.pdf) Acesso: 29-01-22
- Jensen, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José do Campos: Parêntese, 2009
- John, J., Bindu, G., Srimuruganandam, B., Wadhwa, A., Rajan, P. 2020. Land use/land cover and land surface temperature analysis in Wayanad district,

- India, using satellite imagery, *Annals of GIS*, p. 1 – 18. Disponível: doi: 10.1080/19475683.2020.1733662 Acesso: 01-02-22
- Kayser, R. H. B., Ruhoff, A., 2019. Mapeamento da evolução espacial e temporal de áreas agrícolas no bioma Pampa utilizando fenologia da vegetação e Google Earth Engine. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais...XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 1966 – 1969, abril. Disponível: <https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/mapeamento-da-evolucao-espacial-e-temporal-de-areas-agricolas-no-bioma-pampa-utilizando-fenologia-da-vegetacao-e-google> Acesso: 01-02-22
- Käfer, P. S., Rocha, N. S., Diaz, L. R., Kaiser, E. A., Costa, S. T. L., Hallal, G., Veeck, G., Roberti, D., Rolim, S. B. A., 2020. Seasonal assessment of surface temperature with normalized vegetation index and surface albedo over Pampa biome. IEEE Latin American GRSS & ISPRS Remote Sensing Conference (LAGIRS 2020), Santiago, Chile, p. 471 – 476. Disponível: DOI:10.5194/isprs-archives-XLII-3-W12-2020-471-2020 Acesso: 01-02-22
- Lorenzetti, J. A. Princípios físicos de Sensoriamento Remoto. São Paulo: Blucher, 2015
- MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). "Calendário Agrícola". (2015). Disponível:[https://www.laborsolo.com.br/arquivos/formularios/calendario\\_plantio\\_20150407.pdf](https://www.laborsolo.com.br/arquivos/formularios/calendario_plantio_20150407.pdf) . Acesso: 15 Dezembro 2019
- Mardian, J., Berg, A., Daneshfar, B., 2021. Evaluating the temporal accuracy of grassland to cropland change detection using multitemporal image analysis. *Remote Sensing of Environment*, 255, p. 1 – 10. Disponível: DOI:10.1016/j.rse.2021.112292 Acesso: 03-02-22
- MMA. Ministério do Meio Ambiente, 2019 . "Pampa". Folder Pampa. Disponível: <https://www.mma.gov.br/biomas/pampa> Acesso: 15 Abril 2020
- Mengue, V. P., Fontana, D. C., Silva, T. S. da, D., Scottá, F. C., 2018. Detecção de mudanças espaciais relacionadas à expansão da fronteira agrícola no Bioma Pampa. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 70, n. 1, p. 40 – 70. Disponível: <https://doi.org/10.14393/rbcv70n1-45189> Acesso: 03-02-22
- Mengue, V. P., Fontana, D. C., Silva, T. S. da, Zanotta, D., Scottá, F. C., 2019. Methodology for classification of land use and vegetation cover using MODIS-EVI data. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 23, n. 11, p. 812 – 818. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n11p812-818> Acesso: 08-02-22
- Mehta, A., Shukla, S., Rakholia, S., 2021. Vegetation Change Analysis using Normalized Difference Vegetation Index and Land Surface Temperature in Greater Gir Landscape. *Journal of Scientific Research*. V. 65, n. 3. Disponível: DOI: 10.37398/JSR.2021.650301 Acesso: 05-02-22
- Moreira, A., Fontana, D. C., Kuplich, T. M., Cardoso, M. A., 2018. Dados meteorológicos estimados em condições de clima subtropical e a relação com Índices de Vegetação. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 70, n. 4, p. 1409 – 1436. Disponível: <https://doi.org/10.14393/rbcv70n4-46510> Acesso: 08-02-22
- Moreira, A., Bremm, C., Fontana, D. C. Kuplich, T. M., 2019. Seasonal dynamics of vegetation indices as a criterion for grouping grassland typologies. *Scientia Agricola*, 76(1), 24-32. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2017-0173> Acesso: 08-02-22
- Mukherjee, S., Joshi, P. K., & Garg, R. D., 2014. A comparison of different regression models for downscaling Landsat and MODIS land surface temperature images over heterogeneous landscape. *Advances in Space Research*, 54(4), 655–669 Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2014.04.013> Acesso: 01-02-22
- Nabinger, C., Ferreira, E.T., Freitas, A.K., Carvalho, P.C.F., Sant'anna, D.M., 2009. Produção animal em campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa. In: Pillar, V.P., Müller, S.C., Castilhos, Z.M.S., Jacques, A.V.A. (Org.). *Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente - MMA, p. 175-198
- Ndossi, M. I., and Avdan, U. 2016. Application of open source coding technologies in the production of Land Surface Temperature (LST) maps from Landsat: A PyQGIS plugin. *Remote Sensing*, 8 (5), 1 - 31. Disponível: doi: 10.3390/rs8050413 Acesso: 01-02-22
- Overbeck, G.E. et al. Fisionomia dos Campos. In: PILLAR, V.P., LANGE, O. (Ed.) *Os Campos do Sul. Rede Campos Sulinos*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015. p. 31-39
- Ponzoni, F. J., Shimabukuro, Y. E., Kuplich, T. M. Sensoriamento Remoto da Vegetação. *Oficina de Textos*, 2012. 176 p
- Ribeiro, S., Moreira, L., F. B. Overbeck g. e., Maltchik, L., 2021. Protected Areas of the Pampa

- biome presented land use incompatible with conservation purposes. *Journal of Land Science*, v. 16, n. 3, p. 260 – 272. Disponível: doi: 10.1080/1747423X.2021.1934134. Acesso: 01-02-22
- Rubert, G. C., Roberti, D. R., Pereira, L. S., Quadros, F. L. F., Velho, H. F. C., Moraes, O. L. L., 2018. Evapotranspiration of the Brazilian Pampa Biome: Seasonality and Influential Factors. *Water*, 10, 1-18. Disponível: <https://doi.org/10.3390/w10121864> Acesso: 01-02-22
- Sardooi, E. R., Azareh, A., Damaneh, H. E., Damaneh, H. E., 2021. Drought Monitoring Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index Products in Semi-Arid Areas of Iran, *Journal of Rangeland Science*, v. 11, n. 4, p. 402 – 4018. Disponível: [20.1001.1.20089996.2021.11.4.4.2](https://doi.org/10.1001.1.20089996.2021.11.4.4.2) Acesso: 08-02-22
- Sartori, M. G. B. O Vento Norte. Santa Maria/RS: Pallotti, 2016
- Schirmbeck, L. W., Fontana, D. C., Schirmbeck, J., Mengue, V. P., Kuplich, T. M. 2017. Análise de variação microclimática no Bioma Pampa devido à mudança de uso do solo. *Anais...XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 28 a 31 de maio de 2017, p. 1939 – 1946. Disponível: <https://proceedings.science/sbsr/papers/analise-de-variacao-microclimatica-no-bioma-pampa-devido-a-mudanca-de-uso-do-solo?lang=pt-br> Acesso: 01-02-21
- Sobrinho, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., and Paolini, L. 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90(4), 434–440. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003> Acesso: 29-01-22.
- SOSBAI - Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado (30. : 2014 : Bento Gonçalves, RS) Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil / XXX Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado, 06 a 08 de agosto de 2014, Bento Gonçalves, RS, Brasil. – Santa Maria : Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Santa Maria, 192 p. 2014
- Souza, J. C. de, Lopes, E. R., do N., Souza, JO. A. P. de, Padovanni, N. G., Lourenço, R. W., 2019. Dinâmica espacial e sazonal da temperatura, umidade e estresse hídrico em diferentes tipos de cobertura vegetal. *Revista do Departamento de Geografia USP*, v. 37, p. 80 – 94. Disponível: Doi: 10.11606/rdg.v37i0.144716 Acesso: 05-02-22
- Sun, L., Schulz, K., 2015. The Improvement of Land Cover Classification by Thermal Remote Sensing. *Remote Sensing*, 7, 8368-8390. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs70708368> Acesso: 03-01-21
- Trentin, C. B., Trentin, A. B., Moreira, A., Righi, E., 2021. Características da vegetação dos Biomas Pampa e Cerrado monitoradas por NDVI. *Revista Geoaraguaia*. V,11. P.69-84. Disponível: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/12741>. Acesso: 02-02-22
- Trindade, P. M. P., Peixoto, D. B. W., Kuplich, T. M., Almeida, C. A. de., 2021. Desempenho da classificação supervisionada com a inclusão da banda termal em áreas selecionadas do bioma Pampa – Brasil. In: XIII Congresso Brasileiro de Agroinformática, 2021, Bagé/Rio Grande do Sul. *Anais Eletrônicos...* p. 62 – 70, 2021 (a) Disponível: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbiagro/article/view/18376>. Acesso: 28-01-22
- Trindade, P. M. P., Peixoto, D. B. W., Kuplich, T. M., Almeida, C. A. de., 2021 Land cover mapping in the brazilian Pampa with landsat OLI and TIRS bands. São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 40, n. 4, p. 1115 – 1124. (b) Disponível: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i04.15930> Acesso: 08-02-22
- Valor, E., and Caselles, V., 1996. Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas. *Remote Sensing of Environment*, 57(3), 167–184. Disponível: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(96\)00039-9](https://doi.org/10.1016/0034-4257(96)00039-9). Acesso: 08-02-22
- Van De Griend, A. A., Owen, M., 1993. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, 14(6), 1119–1131. Disponível: <https://doi.org/10.1080/01431169308904400> Acesso: 08-02-22
- Zhang, J., Wang, Y., and Li, Y., 2006. A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band6. *Computers and Geosciences*, 32(10), 1796–1805. Disponível: doi: 10.1016/j.cageo.2006.05.001 Acesso: 02-02-22
- Zhao, J., Yu, L., Xu, Y., Ren, H., Huang, X., and Gong, P., 2019. Exploring the addition of Landsat 8 thermal band in land-cover mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 40(12), 4544–4559. Disponível: doi: 10.1080/01431161.2019.1569281