

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MONTES CLAROS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**LUCAS AUGUSTO PEREIRA DA SILVA**

**ANTROPIZAÇÃO DE VEREDAS E EFEITOS NO BALANÇO DE  
ENERGIA AVALIADOS POR SENSORIAMENTO REMOTO**

Montes Claros, MG

2021

**LUCAS AUGUSTO PEREIRA DA SIVA**

**ANTROPIZAÇÃO DE VEREDAS E EFEITOS NO BALANÇO DE  
ENERGIA AVALIADOS POR SENSORIAMENTO REMOTO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Estadual de Montes Claros, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

**Área de Concentração:** Dinâmica e Análise Espacial.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Ivete Soares de Almeida.

**Coorientador:** Prof. Dr. Marcos Esdras Leite.

Montes Claros, MG

2021

Silva, Lucas Augusto Pereira da.

S586a Antropização de veredas e efeitos no balanço de energia avaliados por sensoriamento remoto [manuscrito] / Lucas Augusto Pereira da Silva. – Montes Claros, 2020.

94 f. : il.

Bibliografia: f. 86-94.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Montes Claros - Unimontes, Programa de Pós-Graduação em Geografia/PPGEO, 2020.

Defesa: 22/02/2021.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Ivete Soares de Almeida.

Coorientador: Prof. Dr. Marcos Esdras Leite.

1. Balanço de energia. 2. Veredas. 3. *Surface Energy Balance Algorithm for Land* - SEBAL. 4. Sensoriamento remoto. I. Almeida, Maria Ivete Soares de. II. Leite, Marcos Esdras. III. Universidade Estadual de Montes Claros. IV. Título.

# **ANTROPIZAÇÃO DE VEREDAS E EFEITOS NO BALANÇO DE ENERGIA AVALIADOS POR SENSORIAMENTO REMOTO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Estadual de Montes Claros, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

**Área de Concentração:** Dinâmica e Análise Espacial.

**Linha de Pesquisa:** Território, Cultura e Meio Ambiente.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Ivete Soares de Almeida.  
**Coorientador:** Prof. Dr. Marcos Esdras Leite.

## **BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Ivete Soares de Almeida – Orientadora (PPGEO-UNIMONTES)**

---

**Prof. Dr. Marcos Esdras Leite – Coorientador (PPGEO-UNIMONTES)**

---

**Prof. Dr. Luís Ricardo Fernandes (PPGEO-UNIMONTES)**

---

**Prof. Dr. Claudionor Ribeiro da Silva – (PPGEO – UFU)**

## **DEDICATÓRIA**

**Dedico este trabalho e minha trajetória acadêmica à minha Avó (Maria Augusta).**

**Mesmo tão simples, sempre me deu apontamentos necessários para a vida**

***(In memoriam)***

## **AGRADECIMENTOS**

Essa pesquisa foi financiada pelo Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração (Sítio PELD-VERE) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Processo 441440/2016-9), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES (Código de Financiamento 88887.136273/2017-00) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG (APQ-04816-17).

Agradeço aos meus pais (Geralda e Geraldo) pelo apoio durante minha trajetória acadêmica.

Aos meus orientadores (Doutora Maria Ivete e Doutor Marcos Esdras) pela confiança e paciência, pois sou inquieto.

Aos integrantes do Laboratório de Geoprocessamento pelo companheirismo.

À Universidade Estadual de Montes Claros e ao PPGE0 pela oportunidade.

**Resumo:** As Veredas são sistemas savânicos de extrema importância ecológica e socioeconômica no Cerrado brasileiro. Essa fitofisionomia, diferentemente das demais, é pouco estudada no Cerrado, mesmo passando por processos sistemáticos de antropização. O objetivo desse trabalho foi compreender a influência do entorno das Veredas na APA-RP no comportamento energético desses ambientes. A área de estudo foi escolhida por compor um contexto paisagístico com diversos sistemas de uso e cobertura da terra, sobretudo ambientes com avanços de antropização. Foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto acopladas com o modelo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*). As imagens utilizadas foram do satélite Landsat 8, para as seguintes datas: 21/01, 22/02, 13/05, 14/06 e 30/06 de 2019. Foram analisados dois cenários, Vereda Almescla (com entorno alterado) e Vereda São Francisco (entorno conservado). Para a Vereda Almescla foram observados os maiores valores de Fluxo de Calor no Solo (G), Calor Sensível (H) e menores de Calor Latente (LE). A Vereda São Francisco registrou menores valores de G, H e maiores de LE. A Fração Evaporativa (FE) foi assumida como variável resposta aos efeitos da antropização no balanço de energia. A Vereda Almescla obteve média de 0,77 mm.h<sup>-1</sup>, enquanto que a Vereda São Francisco registrou 0,84 mm.h<sup>-1</sup>. A Vereda com entorno alterado, decresceu sua atividade evapotranspirativa em 8,87%. Essa análise é essencial para avaliações ecológicas das Veredas e para o plano de gestão de uso da terra no entorno desses ambientes, visando diminuir os impactos antrópicos no funcionamento ambiental desses sistemas.

**Palavras-Chave:** Balanço de Energia, Veredas, SEBAL, Sensoriamento Remoto.

# Sumário

Introdução.....	11
<b>1.Referencial Teórico .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.Balanco de Radiação e Energia.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.Obtenção do Balanco de Energia pelo modelo SEBAL - Surface Energy Balance Algorithms for Land .....</b>	<b>18</b>
<b>1.3.Balanco de Radiação e Energia no Contexto do Cerrado Brasileiro.....</b>	<b>25</b>
<b>1.4.Veredas: Aspectos Físicos e Aplicações de Sensoriamento Remoto .....</b>	<b>28</b>
<b>2. Materiais e Métodos .....</b>	<b>31</b>
<b>2.1. Caracterização da Área de Estudo .....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.Procedimentos Técnicos e Operacionais .....</b>	<b>36</b>
<b>2.3. Aquisição de dados.....</b>	<b>36</b>
<b>2.4. Organização dos Dados Meteorológicos.....</b>	<b>37</b>
<b>2.5. Modelagem do Balanco de Energia .....</b>	<b>37</b>
<b>2.6.Validação Estatística .....</b>	<b>41</b>
<b>2.6. Seleção das Amostras.....</b>	<b>41</b>
<b>3.Resultados e Discussão.....</b>	<b>44</b>
<b>3.1. Aspectos Meteorológicos.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2. Comparação entre Dados Modelados e Observados.....</b>	<b>47</b>
<b>3.3.1. Status Vegetacional através do NDVI dos usos e coberturas do solo nos Ambientes de Entorno das Veredas.....</b>	<b>48</b>
<b>3.3.3. Propriedades Termiais dos Usos e Coberturas do Solo nos Ambientes de Entorno das Veredas.....</b>	<b>54</b>
<b>3.3.4. Disponibilidade Energética (Rn) para as Amostras de Usos e Coberturas do Solo nos Ambientes de Entorno das Veredas.....</b>	<b>60</b>
<b>3.3.5. Partição do Saldo de Radiação (Rn) em Fluxos Energéticos (G, H e LE) para as Amostras de Usos e Coberturas do Solo nos Ambientes de Entorno das Veredas.....</b>	<b>65</b>
<b>3.3.6. Interação de Ambientes .....</b>	<b>76</b>
<b>4. Considerações Finais.....</b>	<b>82</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>84</b>

## LISTAS DE FIGURAS E TABELAS

<b>Figura 1</b> - Faixas Espectrais. <b>Fonte:</b> SEOS, 2020.....	18
<b>Figura 2</b> - Localização do bioma Cerrado no Brasil, América do Sul. <b>Fonte:</b> IBGE (2004).....	26
<b>Figura 3</b> - Vereda Típica. <b>Org.</b> Silva, L.A.P, 2020.....	29
<b>Figura 4</b> - Localização da Área de Estudo. ....	31
<b>Figura 5</b> - Geologia Simplificada da APA do Rio Pandeiros.....	33
<b>Figura 6</b> - Hipsometria e Relevo da APA do Rio Pandeiros.....	34
<b>Figura 7</b> - Pedologia Simplificada da APA do Rio Pandeiros. ....	35
<b>Figura 8</b> – Fluxograma sistemático das etapas operacionais.....	36
<b>Figura 9</b> – Localização das amostras nos ambientes Almescla e São Francisco.....	42
<b>Figura 10</b> - Distribuição horária da Temperatura do Ar, Umidade Relativa do Ar, Radiação Solar Global e Velocidade do Vento para 21/01, 22/02, 13/05, 14/06 e 30/06 do ano de 2019.....	44
<b>Figura 11</b> - Pluviosidade Mensal (primeiro semestre de 2019). <b>Fonte:</b> INMET, 2019. ....	46
<b>Figura 12</b> – Estatística de Validação entre dados Modelados e Observados. <b>Fonte:</b> SEBAL e INMET (2019). ....	47
<b>Figura 13</b> - Distribuição Espacial do NDVI.....	49
<b>Figura 14</b> - Distribuição Estatística do NDVI por meio de Boxplot para 21/01, 22/02, 13/05, 14/06 e 30/06 de 2019, para Vereda, Cerrado Alterado, Cerrado de Chapada e Cerrado Típico, respectivamente para o Ambiente da Vereda Almescla. ....	50
<b>Figura 15</b> - Distribuição Estatística do NDVI por meio de Boxplot para 21/01, 22/02, 13/05, 14/06 e 30/06 de 2019, para Vereda, Cerrado Denso, Mata Ciliar e Pastagem, respectivamente para o Ambiente da Vereda São Francisco. ....	52
<b>Figura 16</b> - Distribuição Espacial da TS. ....	55
<b>Figura 17</b> - Distribuição Estatística do Ts por meio de Boxplot para 21/01, 22/02, 13/05, 14/06 e 30/06 de 2019, para Vereda, Cerrado Alterado, Cerrado de Chapada e Cerrado Típico, respectivamente para o Ambiente da Vereda Almescla. ....	56
<b>Figura 18</b> - Distribuição Estatística do Ts por meio de Boxplot para 21/01, 22/02, 13/05, 14/06 e 30/06 de 2019, para Vereda, Cerrado Denso, Mata Ciliar e Pastagem, respectivamente para o Ambiente da Vereda São Francisco. ....	58
<b>Figura 19</b> - Distribuição Espacial do Rn. ....	61
<b>Figura 20</b> - Distribuição Estatística do Rn ( $Wm^{-2}$ ) por meio de Boxplot para 21/01, 22/02, 13/05, 14/06 e 30/06 de 2019, para Vereda, Cerrado Alterado, Cerrado de Chapada e Cerrado Típico, respectivamente para o Ambiente da Vereda Almescla. ....	62
<b>Figura 21</b> - Distribuição Estatística do Rn ( $Wm^{-2}$ ) por meio de Boxplot para 21/01, 22/02, 13/05, 14/06 e 30/06 de 2019, para Vereda, Cerrado Denso, Mata Ciliar e Pastagem, respectivamente para o Ambiente da Vereda São Francisco. ....	64
<b>Figura 22</b> - Distribuição Espacial de G.....	67
<b>Figura 23</b> - Distribuição Espacial de H.....	68
<b>Figura 24</b> - Distribuição Espacial de LE.....	70
<b>Figura 25</b> - Médias de G, H e LE por classe amostral para o ambiente alterado. ....	72
<b>Figura 26</b> - Médias de G, H e LE por classe amostral para o ambiente conservado. ....	74
<b>Figura 27</b> - Fração Evaporativa para as Veredas Almescla e São Francisco, para 21/01, 22/02, 13/05, 14/06 e 30/06 de 2019.....	78
<b>Figura 28</b> - Matriz da Correlação de Pearson para os Usos e Coberturas da terra na Vereda São Francisco. G - Fluxo de Calor no Solo. H - Fluxo de Calor Sensível. LE-Fluxo de Calor Latente. FE- Fração Evaporativa. V: Vereda; CD: Cerrado Denso; MC: Mata Ciliar; PA: P.....	79

**Figura 29** - Matriz da Correlação de Pearson para os Usos e Coberturas da terra na Vereda Almescla  
G - Fluxo de Calor no Solo. H - Fluxo de Calor Sensível. LE-Fluxo de Calor Latente. FE- Fração  
Evaporativa. V: Vereda; CA: Cerrado Alterado; CH: Cerrado de Chapada; C ..... 80

## Lista de Siglas

1- $\epsilon$  – Fração de Onda Longa Refletida

APA-RP - Área de Proteção Ambiental – Rio Pandeiros

BE – Balanço de Energia

BOC – Balanço de Ondas Curtas

BOL – Balanço de Ondas Longas

C<sub>p</sub> – Calor Específico

$\epsilon$  – Emissividade

$\epsilon_a$  - Emissividade Atmosférica

G – Fluxo de Calor no Solo

GreenNDVI – *Green Normalized Difference Vegetation Index*

H – Fluxo de Calor Sensível

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

K – Constante de Von Karman

L - comprimento de Monin-Ubukov

LAI - *Leaf Area Index*

LE – Fluxo de Calor Latente

METRIC – Mapping EvapoTranspiration at high Resolution with Internalized Calibration

ND – Níveis Digitais

NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*

NVI - *New Vegetation Index*

OLI – Operational Land Imager

p - umidade específica do ar

PADAP - Programa de Assentamento Dirigido do Alto Parnaíba

POLOCENTRO - Programa de Desenvolvimento dos Cerrados

PROBIO - Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica

PROCEDER - Programa de cooperação NipoBrasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados

Q<sub>g</sub> - Radiação Solar Global

Rah – Resistência Aerodinâmica

RL $\uparrow$  - Onda Longa Emitida

RL $\downarrow$  - Onda Longa Incidente

Rn – Saldo de Radiação

Rs $\downarrow$  - Radiação Solar Global

SAVI - *Soil Adjusted Vegetation Index*

SEBAL - *Surface Energy Balance Algorithms for Land*

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa

SR - Sensoriamento Remoto

Ta - Temperatura do ar

TerraClass - Monitoramento da Dinâmica do Uso e Cobertura da terra no Cerrado

Tf – Temperatura do pixel frio

TIRS - Thermal Infrared Sensor

Tq – Temperatura do pixel quente

Ts – Temperatura de Superfície

U\* - Velocidade de Fricção

Z<sub>0m</sub> - Coeficiente de Rugosidade

$\alpha$  – Albedo de Superfície

$\sigma$  - Constante de Stefan-Boltzmann

## Introdução

O Cerrado Brasileiro é o segundo maior Bioma da América do Sul e ocupa ~25% do território nacional (VELOSO; SILVA; FERREIRA, 2020). Este Bioma é composto por um complexo mosaico fitofisionômico (aspectos campestres, savânicos e florestais), bem como abundante fonte de recursos hídricos, sobretudo argumentando no prisma de que no Cerrado encontram-se as nascentes dos principais rios do Brasil. Outro aspecto ímpar a se destacar no Cerrado, são suas disposições topográficas, sobretudo o relevo plano e levemente ondulado, além de solos antigos, altamente intemperizados, ácidos e desprovidos de nutrientes (ARANTES; FERREIRA; COE, 2016), que podem facilmente serem corrigidos e mecanizados.

Esses aspectos conferiram ao Cerrado um espaço propício à ocupação antropogênica, sobretudo no contexto das grandes ocupações histórico-econômicas, tais como: mineração, ferrovias, marcha para o oeste e a agropecuária moderna. Nesse interim, o Bioma Cerrado passou por diversos processos de mudanças no uso e cobertura da terra (KLINK; MACHADO, 2005).

Diante desses cenários de alterações no Cerrado, foram criados vários programas de monitoramento da dinâmica de uso e cobertura vegetal. Dentre esses, cita-se: *TerraClass*, MapBiomias, PROBIO (Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica), SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa), além do monitoramento das pastagens (Pastagens.org). Com esse foco nos estudos de monitoramento do uso e cobertura da terra no Cerrado, surgem novas análises, sobretudo com atenção na pauta climática, haja vista que o uso da terra é fator determinante na disponibilidade energética da superfície.

Estudos tem sido realizados no Bioma Cerrado com intuito de compreender a dinâmica energética considerando diversas paisagens geográficas (FAUSTO et al., 2016; ROCHA JÚNIOR et al., 2020). É salutar mencionar que, nos estudos abordados constatou-se que a alteração dos ambientes inferiram sistematicamente em variáveis climáticas (temperatura de superfície, saldo de radiação e evapotranspiração). Assim, observa-se a necessidade ímpar em analisar as relações entre os aspectos de uso e cobertura da terra no Cerrado e a dinâmica energética.

Entretanto, a maioria das análises são restritas a contextos paisagísticos generalizados, ou seja, não observa-se especificações em ambientes. Por exemplo, em áreas de Veredas, mesmo compreendendo a importância desses sistemas para a formação de cursos d'água,

manutenção de fauna diversa e potencial econômico (para comercialização de frutos e fibras, e turismo), são poucos os estudos que dedicaram analisar variáveis do balanço de radiação e energia (VELOSO; SILVA; FERREIRA, 2020).

Esse estudo supracitado, fora conduzido na APA-RP (Área de Proteção Ambiental – Rio Pandeiros). A APA-RP é a maior do Estado de Minas Gerais, e possui um complexo paisagístico que chama atenção no contexto da biodiversidade, principalmente quanto aos sistemas de Veredas. Entretanto, em estudos recentes, observou-se que há intensas alterações no uso e cobertura da terra nesses ambientes (ALMEIDA; VELOSO; NERY, 2016). Dessa maneira, é sabido que essas alterações tendem afetar as propriedades hidrotermais (MACHADO et al., 2014), assim, considerando que os ambientes de Veredas são úmidos, e partindo do princípio da termodinâmica, sobretudo a transferibilidade de energia, esse estudo buscou responder a seguinte problemática: qual influência dos sistemas de uso e cobertura da terra do entorno de Veredas no balanço energético dessas?

O objetivo central deste estudo é compreender a influência do entorno das Veredas na APA-RP no comportamento energético desses ambientes. Tendo como objetivos específicos: identificar o status vegetacional e propriedades termiais dos ambientes de Veredas com entorno alterado e conservado por índice de vegetação; compreender o comportamento dos fluxos energéticos nos ambientes do entorno das Veredas; analisar a interação do entorno com as Veredas; e a resposta evapotranspirativa das Veredas em função do balanço de energia. Para tanto, serão utilizadas técnicas sensoriamento remoto orbital, com aspectos multiespectrais, principalmente dotando de algoritmo para modelagem, nesse caso, o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*).

Quanto à estrutura da dissertação, o primeiro capítulo buscou fundamentar com aspectos teóricos o presente trabalho, sendo intitulado, referencial teórico. Este capítulo é dividido em 4 sub tópicos, sendo: *balanço de radiação e energia, obtenção do balanço de energia pelo algoritmo SEBAL, balanço de radiação e energia no contexto do Cerrado Brasileiro e Veredas: Aspectos Físicos e Aplicações de Sensoriamento Remoto*.

No primeiro, foram apresentadas teorias da física moderna, que permitiram compreender o balanço de radiação e energia na superfície terrestre, sobretudo apresentando os fatores que alteram esses elementos, sejam eles naturais ou antrópicos. No segundo, mostrou-se como mensurar o balanço de radiação e energia através de técnicas avançadas de sensoriamento remoto, sobretudo apontando aspectos no eixo teórico, bem como apresentando os principais estudos na atualidade e os precursores, além da importância dessas aplicações para a ciência geográfica. O terceiro sub tópico mostrou estudos no Bioma Cerrado, que objetivaram

analisar o balanço de radiação e energia, sobretudo considerando alterações no status original do Bioma, principalmente apresentando os cenários de perda da cobertura vegetal. No quarto sub tópico, elencou-se os aspectos físicos dos ambientes de Veredas, assim como os conceitos e diferentes tipos, além de estudos que dotaram de técnicas de sensoriamento remoto para monitorar o uso e cobertura da terra e variáveis biofísicas nesses ambientes. No segundo capítulo, intitulado *Materiais e Métodos*, foi caracterizada a área de estudo. Também foram abordados os procedimentos e critérios de escolha dos ambientes de Veredas, bem como o entorno. Esse capítulo, apresenta-se ainda, os caminhos metodológicos para modelagem do balanço de radiação e energia, principalmente expressando o contexto matemático em que se insere.

Nos Resultados e Discussão, iniciou-se com o sub tópico *Parâmetros de Calibração e Aspectos Meteorológicos*, em que foram abordados parâmetros astronômicos em que se inserem os produtos de sensoriamento remoto, e dados meteorológicos para o fotoperíodo de cada dia em que analisou-se os parâmetros biofísicos. Após isso, no sub tópico *Validação Estatística*, foram comparadas as estimativas de parâmetros pelo modelo SEBAL e dados de campo. Em seguida, seguiu-se a análise do status vegetacional dos usos e coberturas do solo no entorno dos ambientes de Vereda, com intuito de observar como esses padrões influenciaram no balanço de energia, isso no tópico *Status Vegetacional a partir do NDVI para as amostras dos usos e coberturas do entorno de ambientes de Veredas*. No sub tópico *Propriedades Termiais dos Usos e Coberturas do Solo nos Ambientes de Entorno das Veredas*, foram abordados os comportamentos termiais dos usos e coberturas da terra nos dois ambientes de Veredas, com a prerrogativa de que esta variável e esses comportamentos serão chaves para compreender o balanço de energia. No sub tópico *Disponibilidade Energética dos Usos e Coberturas do Solo nos Ambientes de Entorno das Veredas*, analisou-se o saldo de radiação ( $R_n$ ) por classe, e mostrou como este elemento varia, considerando o status vegetacional e propriedades termiais. No Sub tópico intitulado *Fluxos Energéticos ( $G$ ,  $H$  e  $LE$ ) para os Usos e Coberturas do Solo nos Ambientes de Entorno das Veredas*, foram discutidos os componentes do balanço de energia, bem como partição de energia líquida disponível ( $R_n$ ) por classe de uso e cobertura da terra, No último sub tópico, buscou compreender a *interação dos ambientes*, sobretudo tendo como base os dados obtidos nos sub tópicos anteriores desse capítulo. Por fim, os resultados foram sintetizados nas considerações finais, apontando os principais resultados desse estudo, bem como sua relevância para os estudos geográficos.

## 1.Referencial Teórico

### 1.1Balanço de Radiação e Energia

O balanço de radiação e energia no sistema Terra - atmosfera compreende os fluxos de energia que entram (radiação de onda curta advindas do Sol) e saem (ondas longas oriundas da Terra), ocasionando o equilíbrio entre esses sistemas. Esses parâmetros são essenciais para análises ambientais em diversas escalas de abordagem, principalmente considerando que os parâmetros inseridos nesses balanços são responsáveis pela dinâmica meteorológica e climática, sobretudo na interação superfície – atmosfera, tendo em vista que interferem sistematicamente na distribuição de umidade, temperatura do ar e calor no globo terrestre.

No contexto geográfico, tais análises mostram-se funcionais do ponto de vista de organização da dinâmica espacial, haja vista que pode nortear áreas com elevação demasiada de temperatura, perda de energia para o espaço sideral em função do albedo, áreas com déficit hídrico, estresse hídrico e conseqüentemente disponibilidade hídrica regional.

A fonte primária para os fluxos energéticos e balanço de radiação, é o Sol. Essa é pertencente em maior parte (99%) ao espectro do visível (radiação de ondas curtas). A radiação, ao perpassar a atmosfera, sofre processos de atenuação, dentre eles: espalhamento, reflexão e absorção pelas nuvens e absorção seletiva por constituintes da atmosfera (ECHER; SOUZA; SCHUCH, 2001; FONTANA et al., 2020). O espalhamento atmosférico, pode ser entendido como fenômeno que ocasiona a mudança aleatória da propagação da radiação solar, em função da interação com os constituintes da atmosfera (FRANCISCO et al., 2020).

Exemplo nítido do espalhamento da luz, é a cor azul que o céu possui, essa cor indica que houve maior espalhamento no espectro do azul, sobretudo em função do tamanho do diâmetro das partículas suspensas na atmosfera. A cor vermelha observada no céu em períodos de maior inclinação do astro (Sol), em que o tempo ótico aumenta, propiciando o espalhamento no espectro vermelho (e por vez laranja); entretanto, salienta-se que outro fator responsável por tal efeito são os poluentes atmosféricos, em que o tamanho das partículas de poluentes é menor que os comprimentos de onda.

A presença de Oxigênio ( $O_2$ ), Ozônio ( $O_3$ ), gás carbônico ( $CO_2$ ), vapor d'água ( $H_2O$ ) e óxido nitroso ( $N_2O$ ) na atmosfera tende a proporcionar o processo de absorção seletiva da radiação solar. É preciso salientar que, no processo de absorção, a radiação centrada no espectro visível, é transmitida, sendo essas porções do espectro denominadas de janelas atmosféricas;

em contrapartida, o gás carbônico e o vapor d'água possuem faixas de absorção no infravermelho (GAIDA et al., 2020).

As nuvens são determinantes na discussão sobre atenuações da radiação solar, sobretudo considerando que em partes da Terra, as mesmas podem cobrir 100% de uma dada localidade. Sua constituição física é dada essencialmente por cristais de gelo e gotículas de água, isso proporciona a reflexão da radiação (sobretudo no espectro visível) e salienta-se que a absorção pelas nuvens é relativamente baixa (ECHER; MARTINS; PEREIRA, 2006).

Após os processos atenuantes em função dos constituintes atmosféricos, a radiação solar é incidida sob superfície terrestre e denominada de radiação solar global ( $Q_g$ ), sendo constituída pela porção de radiação direta (a qual atinge a superfície diretamente, sem sofrer atenuações) e difusa (que sofre processos atenuantes pela atmosfera). Parte de  $Q_g$ , é absorvida por constituintes da superfície e outra fração é refletida, essa sendo denominada como coeficiente de reflexão – albedo (ondas curtas, de 0,15 a 4 micrômetros) (CUNHA et al., 2020; ZHOU et al., 2020). O albedo é um dos componentes mais importantes do balanço de radiação, sobretudo por manter controle da radiação que é absorvida, atuando essencialmente no balanço de energia final (VELOSO et al., 2016). Dessa forma, abordagens envolvendo albedo de superfície são essenciais, sendo imprescindíveis para o monitoramento ambiental, análises meteorológicas e previsões de safras agrícolas.

O albedo de superfície depende de diversos fatores, como: textura, umidade, tonalidade, presença de cobertura vegetal, densidade da cobertura vegetal, ângulo de inclinação solar, tempo ótico, dentre outros (THOMPSON et al., 2017). A outra fração da radiação solar incidente, que é absorvida pela superfície terrestre, tende a aquecê-la, e partindo do princípio da lei de corpo negro de Planck e Stefan-Boltzmann, a Terra emite sua própria radiação, concentrando-se entre 4 e 100  $\mu\text{m}$ , sendo denominada de ondas longas. Dessa maneira, a emissão de radiação pela superfície se dá por meio da temperatura de superfície.

Na superfície terrestre, não existem corpos que emitem a radiação incidente perfeitamente como corpos negros. Logo, entende-se que os usos e coberturas da terra vão emitir radiação considerando suas características, neste caso, a emissividade de superfície é essencial para esse processo. A emissividade representa a capacidade do corpo emitir radiação de acordo com suas características atômicas (HERRAIZ; MARUGÁN; MÁRQUEZ, 2020). A emissividade ( $\epsilon$ ) é obtida pela razão entre a emitância do corpo real e do corpo real. Parte da radiação emitida pela superfície (90%) em sentido à atmosfera, é absorvida por constituintes atmosféricos (vapor d'água, gás carbônico, ozônio e nuvens na atmosfera), outra parte da radiação perpassa a atmosfera sem ser absorvida (REICHARDT; TIMM, 2020). A atmosfera,

assim como a Terra, ao absorver a radiação, e elevar sua temperatura, emite sua própria radiação, sendo denominada de contrarradiação.

A radiação emitida pela atmosfera é obtida com  $\epsilon_a$  (emissividade atmosférica), a constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma$ ) e a temperatura do ar ( $T_a$ ) em Kelvin.  $\epsilon_a$  pode ser obtida com base na transmitância (RAMÍREZ-CUESTA et al., 2020), e a temperatura do ar ( $T_a$ ) pode ser obtida em estação meteorológica. Com radiação emitida pela superfície e incidente da atmosfera, obtêm-se o balanço de ondas longas, tendo assim a dinâmica da radiação infravermelha entre interface da superfície e atmosfera. O somatório entre Balanço de ondas curtas – BOC e Balanço de ondas longas – BOL resulta na energia disponível na superfície para diversos processos bio-físico-químicos – saldo de radiação:

$$R_n = BOC + BOL \quad (01)$$

Compreender o saldo de radiação ( $R_n$ ) é essencial para delinear análises sobre a dinâmica entre a superfície e a atmosfera, sobretudo partindo do prisma que o mesmo é crucial para o monitoramento climatológico, principalmente considerando a distribuição de calor e umidade, no contexto hidrológico, previsões do tempo, energia renovável, meteorologia agrícola, regime evapotranspirativo de ecossistemas, dentre outros (BISHT; BRAS, 2010).

Do ponto de vista energético, o  $R_n$  é responsável pelo aquecimento vertical do solo, aquecimento do ar, transferência de massa (vapor d'água) para as camadas adjacentes à superfície (SINGH et al., 2020). Na equação 09, está representada a repartição do  $R_n$  nos componentes do balanço de energia:

$$R_n = G + H + LE \quad (02)$$

Em que  $G$ , representa o fluxo de calor no solo,  $H$ , fluxo de calor sensível,  $LE$ , o fluxo de calor latente. O  $G$  representa a fração do saldo de radiação que é responsável pelo aquecimento do solo, esse aquecimento é dado de maneira vertical, sendo positivo no momento em que o aquecimento é descendente, no qual ocorre a condução do calor para as camadas mais profundas do solo (KOSSOWSKI, 2020).

O fluxo de calor no solo é essencial para compreender a entrada e saída de energia de um dado sistema, sobretudo tendo em vista que este possui capacidade de aumentar e diminuir as trocas energéticas para com a atmosfera (FUNARI; PEREIRA FILHO, 2017). Diversos estudos apontam os elementos que influenciam de maneira intrínseca o fluxo de calor no solo,

como o uso e cobertura do solo, índice de área foliar, dentre outros (ABERA et al., 2020; SINGH et al., 2020; WANG et al., 2020). O G, em diferentes os usos e coberturas do solo, tende a variar de acordo com as características dos mesmos, sobretudo o grau de cobertura, que pode ser representado pelo índice de área foliar. Para áreas em que a vegetação possui dossel bem estruturado, há tendência da energia destinada ao aquecimento do solo, não o atingir com intensidade, e, conseqüentemente, decrescer os valores de G, já em áreas em que há menor cobertura ou nula do solo, o fluxo de calor descendente é elevado.

É importante salientar que G influencia sistematicamente H, tendo comportamento proporcional, ou seja, em ambientes em que G é elevado, a tendência é que H também seja. Isso porque H representa a transferência vertical de calor sensível das camadas de ar da superfície, para as camadas adjacentes da atmosfera, sendo responsável pelo aquecimento do ar (SENKONDO et al., 2019).

A transferência de calor para aquecimento do ar é dada pela diferença de temperatura entre superfície e atmosfera adjacente, ou seja, pela diferença de densidade, isso considerando a convecção. Há também transferência de calor por condução ou molecular, isto é, as moléculas de ar próximo a superfície aquecida transferem calor para àquelas com menor porção de calor (considerando que estão em níveis atmosféricos adjacentes), todavia, é predominante a transferência de calor por turbulências (convecção).

Assim como G, o H sofre influência de diversos fatores ambientais, bem como uso e cobertura da terra, umidade, disponibilidade hídrica e energética, dentre outros. Em áreas cobertas por vegetação densa, o H tende a ser menos elevado (ANGELINI et al., 2017), principalmente considerando que nesses ambientes a energia disponível é utilizada para conversão da água (líquida) armazenada na estrutura da vegetação, em vapor d'água podendo assumir que as áreas de vegetação densa são essenciais para elevar umidade local. Fatores como umidade e disponibilidade hídrica no ambiente são determinantes para os valores de H, visto que em superfícies úmidas os valores são apresentados como negativos, isso porque predomina a evaporação d'água. Áreas com menores porções de biomassa, comportam com acréscimos nos valores de H (BIUDES et al., 2015), a exemplo as área de solo exposto e vegetação rarefeita (MACHADO et al., 2014).

Do ponto de vista das condições atmosféricas, os valores de H durante o período diurno geralmente são positivos, principalmente considerando que a atmosfera está instável, ou seja, convectiva, já no período noturno, a tendência é que os valores sejam negativos, isso partindo do princípio de que ao passo que a superfície se resfria (dissipando calor), necessita entrar em equilíbrio termodinâmico com a atmosfera, e essa passa a ceder calor (descendente) para o

aquecimento superficial, esse processo ocorre quando as condições atmosféricas estão estáveis, partindo das prerrogativas de Monin-Ubukov.

Analisar o fluxo de calor sensível em diferentes ambientes é essencial para planejamento ambiental, visto que a partir dessas análises podem inferir em tomadas de decisões por partes dos gestores em diversos prismas, tais como: projetos de irrigação, áreas propícias a queimadas, implementação de áreas verdes urbanas, dinâmica energética, dentre outros.

O H é determinante para as demais etapas do balanço de energia (BE), principalmente para o fluxo de calor latente (LE), tendo em vista que em diferentes ambientes, a partição do BE pode ser em demasia para o H e em menores porções para LE, ou vice-versa. LE representa a porção do saldo de radiação que é responsável pela conversão da água em estado líquido para gasoso (massa de vapor d'água) (FAUSTO et al., 2016).

Seguindo a mesma lógica de G e H, LE é influenciado por fatores ambientais e climáticos. Alguns estudos apontam que em áreas vegetadas, principalmente com índice de área foliar (IAF) elevado, os valores de LE tendem a seguir comportamento simétrico (VELOSO; FERREIRA; DA SILVA, 2017). Maior parte do Rn em áreas vegetadas, é destinado para conversão de água em estado líquido para massa de vapor d'água.

Em áreas não vegetadas ou com vegetação rarefeita, nas quais os níveis de biomassa são baixos, o LE tende a ser menos elevado, sobretudo considerando que esses estratos vegetacionais não possuem grande capacidade de trocar vapor d'água para com a atmosfera (SILVA et al., 2020), visto que há predominância de transferência de G (para camadas inferiores do solo) e H.

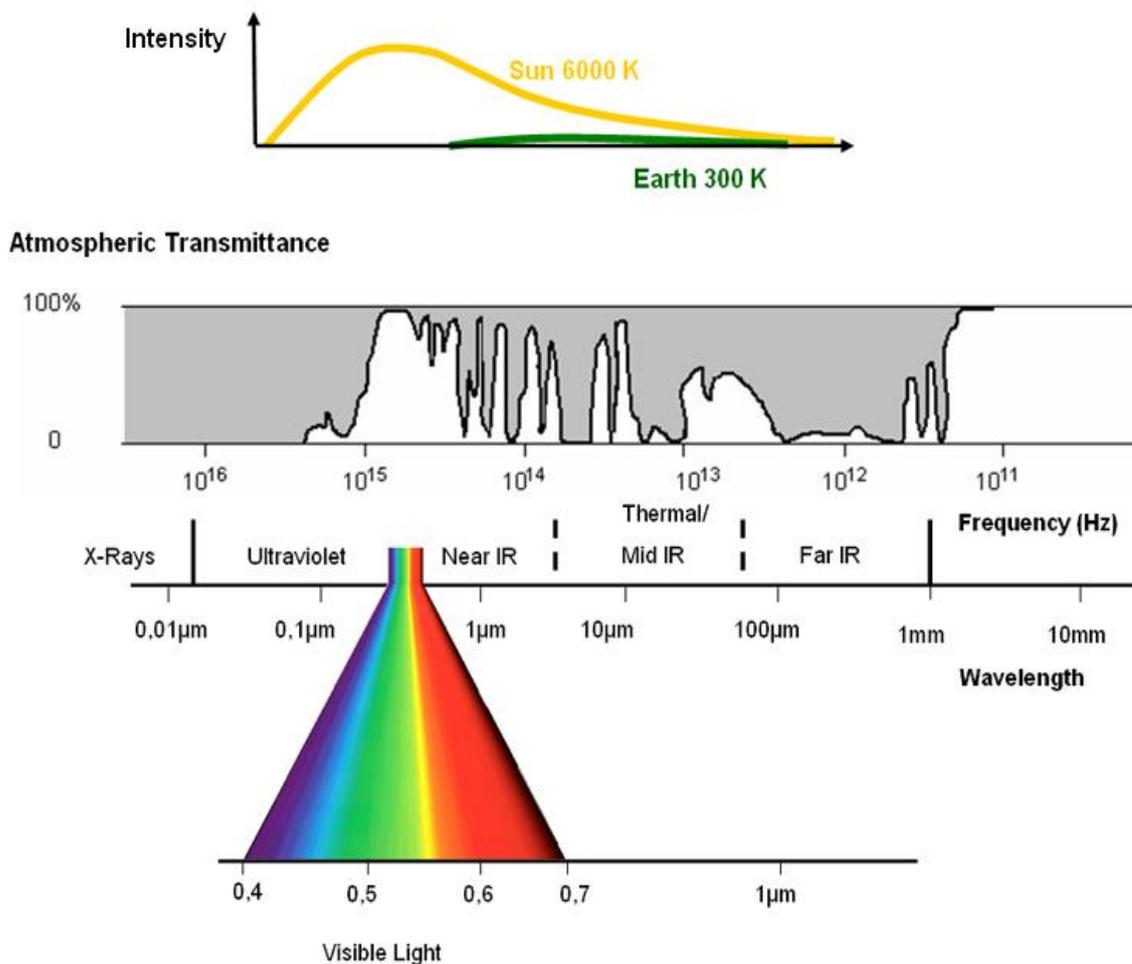
É salutar mencionar que o LE é essencial para os fenômenos atmosféricos, sobretudo ao considerar que este fluxo é utilizado como incremento na formação de precipitações em seus diversos estados físicos, sendo assim, imprescindível para modelagens, previsões e predições atmosféricas. O LE é transferido para camadas superiores da atmosfera por meio da massa de vapor d'água, isto é, evapotranspiração. Após a transferência da água em vapor, é elevado para camadas superiores da atmosfera, resfriando-se e o vapor tendendo a condensar-se. Esse fenômeno levará a liberação de calor latente, que conseqüentemente será utilizado em outros processos de transformação física do estado da água.

Diante dos estudos explanados, menciona-se que, para os ambientes de Veredas espera-se diante da hipótese e justificativa da presente pesquisa, que seja possível entender como a dinâmica do uso e cobertura da terra no entorno das Veredas influencia o balanço de energia. No próximo tópico serão apresentadas características do modelo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*), no qual será obtido o balanço de energia.

## 1.2.Obtenção do Balanço de Energia pelo modelo SEBAL - Surface Energy Balance Algorithms for Land

A obtenção do balanço de energia (BE) por técnicas de sensoriamento remoto vem sendo uma opção atrativa entre os pesquisadores, principalmente ao considerar a disponibilidade de dados pretéritos recobrando vastas áreas, bem como diminuição de custos nas pesquisas, visto que existe a possibilidade de obter produtos gratuitos.

O SEBAL é um método residual de obtenção do balanço de energia (BASTIAANSEN et al., 1998). Este algoritmo foi proposto com intuito de estimar os componentes do balanço de radiação e energia, tendo evapotranspiração real como produto final, atribuindo sobretudo, o uso de produtos de sensoriamento remoto (VELOSO; SILVA; FERREIRA, 2020). Para execução do SEBAL, são necessárias as faixas espectrais do visível (azul, verde e vermelho), o infravermelho próximo, médio e termal (BASTIAANSEN et al., 1998), tais faixas estão representadas na Figura 1:



**Figura 1** - Faixas Espectrais. Fonte: SEOS, 2020.

A fim de compreender a inserção dos canais espectrais no SEBAL, se faz necessário compreender os princípios do comportamento espectral dos alvos numa dada porção da superfície. Sobre o espectro visível, infravermelho (próximo e médio), os canais possuem importância ímpar, principalmente tendo em mente que são usados na obtenção da radiação refletida pela superfície, bem como matriz de índices de vegetação.

Antes do uso dos dados em forma de reflectância, esses são inseridos no SEBAL com valores de níveis digitais (ND) calibrados, ou seja, a radiação advinda da superfície captada pelo sensor, é distribuída em pixels, sendo parametrizada por escalas radiométricas, as quais representam os limiares dos NDs para as imagens de satélite (FRANCISCO et al., 2020). As imagens – com valores em NDs – não possuem valores físicos, sendo necessário o reescalonamento para radiância – essa representa a radiação emitida e refletida pelos alvos na superfície por unidade de área através de um ângulo sólido, que é formado no interior satélite, a partir da câmera do sensor em direção aos objetos na superfície.

Comumente o SEBAL é utilizado com imagens dos satélites Landsat 5 (das bandas 1 a 7) e 8 (das bandas 2 a 7 e 10 ou 11), para a conversão dos seus NDs em radiância, faz necessário o uso de coeficientes específicos. No caso do L5, a conversão é dada a partir das radiâncias mínimas e máximas atribuídas como limiares, ou seja, os ND's são convertidos diante do intervalo pré-estabelecido. No que diz respeito ao L8, são utilizados os fatores aditivos (*offset*) e multiplicativos (*Gain*) disponibilizados em metadados. Esses fatores representam a relação linear entre radiância espectral e níveis digitais. Em que o Offset define a radiância igual a zero, e o *Gain*, a inclinação proporcional entre aumento de radiância e níveis digitais (STATELLA; SOUTO; PEREIRA, 2020).

Com os parâmetros de radiância, tem-se a noção dos valores emitidos e refletidos, entretanto, no caso específico para radiação refletida, apenas com esses dados não é possível inferir às análises um coeficiente de reflexão (reflectância), visto que não foram inseridos os valores de irradiância média no topo da atmosfera. Ainda nessa perspectiva, para obtenção do coeficiente de reflexão, são necessários os dados de ângulo de elevação do sol –o qual influencia a intensidade da reflectância, já que, quanto maior for a elevação do sol, há tendência da reflexão ser menos elevada, isso porque os raios solares estão perpendiculares à superfície, caso contrário ocorre ao passo que a elevação do sol diminui, pois aumenta a inclinação do astro, e a radiação incidente está oblíqua à superfície, elevando a reflexão (CARMO et al., 2018). A distância Terra-Sol insere-se no cálculo de obtenção da reflectância. É um parâmetro de importância ímpar, haja vista que dará a noção do montante de radiação incidente do topo da atmosfera.

Como já foi dito em parágrafos acima, ao obter a reflectância, é possível obter o albedo de superfície. Entretanto, a partir do somatório dos coeficientes de reflexão de cada banda do espectro visível, os valores de albedo serão considerados tanto para a reflexão superficial quanto da atmosfera.

Para estabelecer correção dos efeitos atmosféricos, é necessário a entrada de alguns parâmetros, dentre esses: reflectância da atmosfera e transmissividade. O coeficiente reflectivo da atmosfera para alguns estudos no algoritmo SEBAL é dado em 0,03 (BASTIAANSEN et al., 1998a). A transmissividade representa a capacidade da radiação ser transmitida pela atmosfera à superfície, variando principalmente com a turbidez atmosférica ( $Kt$ ) (VASCONCELOS et al., 2017).

Os índices de vegetação ditos como matrizes do SEBAL e gerados a partir da radiação do espectro visível são: NDVI, SAVI e LAI. O NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index* – foi proposto inicialmente por (ROUSE, 1973), e os valores normalizam a razão simples com limiares entre -1 e 1. Considerando sua entrada no SEBAL, menciona-se que é fundamental, sobretudo porque representa o verdor (ou vigor da vegetação), e isso é essencial para os parâmetros de balanço de radiação e energia, e conseqüentemente à evapotranspiração. O NDVI é dado pela razão entre os canais infravermelho próximo e vermelho visível – o infravermelho próximo representa a radiação refletida pela vegetação devido aos espaços vazios intracelular, quanto maior forem esses espaços, maior será a reflexão nesse espectro; o comportamento do vermelho na vegetação, geralmente é dado pela absorção de radiação pela clorofila (DA SILVA LOTUFO et al., 2020).

Existem outros índices que podem auxiliar na análise do comportamento da vegetação no que tange à reflexão e absorção da radiação, o  $GreenNDVI$ , é essencial para tais análises, sobretudo ao considerar que em diferentes pigmentos (*ficoeritrinae ficocianina*) a vegetação pode absorver mais nesse espectro do visível (XU; AN; GUO, 2020). O NVI (*New Vegetation Index*), é um índice que foi formulado a fim minimizar os efeitos de absorção de vapor d'água, isso porque em faixas do infravermelho há contribuição do vapor no comportamento reflectivo, ao absorver a radiação (GUPTA; VIJAYAN; PRASAD, 2001).

A partir do NDVI, tem-se o SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*), o qual utiliza um fator de correção dos efeitos do solo sobre a reflectância ( $L$ ), conseqüentemente seus valores são inferiores ao NDVI (HUETE, 1988). Esse índice é utilizado em outras etapas do algoritmo, dentre elas: LAI e coeficiente de rugosidade ( $Z_{om}$ ). O LAI (*Leaf Area Index*), foi proposto para representar a razão entre a área do dossel e a área do mesmo projetada ao solo. Como já salientado, o LAI é essencial para discussões a respeito do  $R_n$ , BE e evapotranspiração, tendo

em vista que possuem correlação positiva, sendo que, área com maior LAI – indicando dossel mais estruturado – intercepta mais radiação solar incidente, utilizando-a para os processos biofísicos.

De posse do LAI, é possível obter a emissividade da superfície, isso tendo vista a teoria de corpo negro de Planck, a qual é essencial para obtenção de temperatura e a radiação de onda longa emitida pela superfície. A emissividade da banda termal, compreende aos comprimentos de onda entre 8 – 12  $\mu\text{m}$ , sendo utilizada para mensurar a temperatura de superfície, que por sua vez, além da emissividade, necessita dos dados radiométricos do espectro emissivo (radiância obtida), que compreende a radiação térmica emitida pós interação (excitação atômica) com a matéria (GOMES et al., 2009). Já a emissividade da banda longa (4 – 100  $\mu\text{m}$ ) é obtida para gerar a radiação de onda longa. É oportuno mencionar que essa emissividade (banda longa) é apenas para fins teóricos, tendo em vista que os comprimentos de onda para Landsat 5 e 8, possuem intensidade máxima apenas até o comprimento de onda que compreendem as bandas termais.

Para complementar o algoritmo na parte do balanço de radiação, são obtidas as ondas longas e curtas incidentes. A onda longa incidente é obtida por meio da temperatura do ar – Tar (média horária) fornecida por estação meteorológica dentro da cena, sendo assim, este parâmetro (onda longa incidente) é constante na cena. Além da Tar, é necessária a emissividade atmosférica – a qual dará a noção da capacidade da atmosfera emitir radiação - e da constante de Stefan-Boltzmann (que já foram discutidas no tópico 1.1). As ondas curtas incidentes são obtidas com uso das seguintes variáveis: Constante Solar (que representa a irradiância total no topo da atmosfera), distância Terra-Sol e ângulo de elevação do sol. É considerável frisar que, os dados obtidos – radiação de ondas curtas incidente e refletida (albedo), onda longa incidente e emitida – são representações instantâneas, e, são inseridos no cálculo de saldo de radiação (ou balanço de radiação).

Ainda na primeira etapa do SEBAL, obtêm-se o saldo de radiação diário – que será essencial para entrada e obtenção da evapotranspiração real 24 horas – este é obtido através de dados de estação meteorológica. A estação meteorológica deve estar inserida na cena, e os dados extraídos, são em escala horária, que serão posteriormente reescalados para média diária.

Dando sequência, o G é obtido no algoritmo com junção do saldo de radiação instantâneo, albedo e temperatura de superfície, NDVI. O albedo para geração desse parâmetro, norteará as áreas com maior reflexão e maior absorção de radiação, isso apontará também a energia associada ao agito molecular das parcelas de ar próxima à superfície, influenciando

desta forma a temperatura, a qual afetará substancialmente na disponibilidade energética para aquecimento do solo, levando em consideração sobretudo as variações de biomassa/verdor da área (NDVI).

Após a obtenção desses produtos, adentra-se na segunda etapa do modelo, sendo o cálculo de  $H$ . Essa etapa é crucial para as demais etapas, principalmente por assumir pressupostos teóricos, bem como a precisão na coleta de pixels âncoras – pixel quente e frio, que possui como objetivo obter os extremos na imagem.

Sobre as condições para obter os pixels âncoras, para o denominado pixel quente, é recomendável que seja uma área desprovida de vegetação, de preferência a classe solo exposto, visto que, diante dos pressupostos, nesses ambientes a energia disponível é utilizada para o fluxo de calor sensível, e conseqüentemente, o fluxo de calor latente e evapotranspiração tendem a serem nulos. Para este pixel, são extraídos os valores de  $R_n$ , SAVI,  $G$  e  $T_s$  (temperatura de superfície) a partir dos produtos já obtidos nas etapas anteriores. Já para o pixel frio, é extraído o valor de temperatura de superfície para uma área em que as condições de umidade e biomassa em demasia predominam, em alguns casos é obtido em corpos hídricos (MENDONÇA et al., 2012). Para esse pixel, pressupõe-se que o fluxo de calor sensível é nulo, e  $LE$  (e evapotranspiração) são máximos. O uso dos pixels âncoras é essencialmente para calcular dois coeficientes (**a** e **b**) que serão cruciais na obtenção da diferença de temperatura entre a superfície e o ar.

Buscando interação entre os dados do modelo e de referência, é necessária inserção da velocidade do vento da estação meteorológica, bem como a altura da grama e posterior a rugosidade da superfície nesse local. Inicialmente esses dados são utilizados para gerar velocidade de fricção a nível de estação e a velocidade do vento a 200 metros, a qual considera-se que a superfície já não interfere em sua circulação.

Considerando que a velocidade do vento a 200 metros é constante na cena, é obtida a velocidade de fricção para cada pixel da imagem, com base no coeficiente de rugosidade – oriundo do SAVI. Na sequência, dispoño da velocidade de fricção inicial, estima-se a resistência aerodinâmica ao transporte de calor para cada pixel.

Este elemento, do ponto de vista do modelo matemático, é um parâmetro físico, haja vista que representa o quanto as impedâncias/barreiras físicas interferem no transporte de calor. Todavia, do ponto de vista do fenômeno, pode-se assumir a resistência como um fator biofísico. Em áreas de solo exposto, na qual se têm maiores temperaturas nas parcelas de ar próximo à superfície, essas (parcelas de ar) estão menos densas (expandidas) e mais propícias à transferência de calor. Já em áreas vegetadas, cujo teor de umidade próximo à superfície é

elevado devido a evapotranspiração, há a contração de parcelas de ar adjacentes, o que eleva a densidade e conseqüentemente impede o transporte de calor às camadas mais próximas da atmosfera.

Da posse da resistência aerodinâmica, pixels âncoras, da constante de massa específica (que pode ser obtida para dados locais ou utilizar a constante de 1,15), calor específico do ar e  $dT$  (obtida com os coeficientes **a** e **b** oriundos dos pixels âncoras), é obtido o fluxo de calor sensível.

O fluxo de calor sensível obtido nessa primeira fase, encontra-se sob as condições neutras da atmosfera, sendo assim, necessita-se de correções de estabilidade atmosférica, seguindo a Teoria de Similaridade de Monin-Obukov, a qual estabelece as condições conforme os valores de  $L$  (comprimento de Monin-Obukov) – como já mencionado no tópico 1.1.

Da posse do comprimento de Monin-Obukov, faz necessário a obtenção dos coeficientes de correção de transporte de calor e *momentum* – razão entre velocidade e massa, o que origina a quantidade de movimentos turbulentos -que serão inseridos nos novos cálculos de resistência aerodinâmica e velocidade de fricção, respectivamente. Na planilha do algoritmo, recomenda-se que sejam realizadas de 8 a 9 iterações, até que se obtenha valores consistentes de  $H$ .

Com os dados de  $R_n$ ,  $G$  e  $H$ , é obtido o fluxo de calor latente ( $LE$ ), isto é, subtraindo  $G$  e  $H$  em  $R_n$ , a energia restante, será destinada à transformação de água no estado líquido em vapor d'água. A partir dos parâmetros de  $R_n$ ,  $LE$  e  $G$ , é obtida a fração evaporativa, a qual representa a evapotranspiração instantânea, e, é assumida como evapotranspiração diurna. Por fim, gera-se a evapotranspiração real diária, isso com inserção dos dados de fração evaporativa, saldo de radiação 24h e calor evaporização.

Devido a sua estrutura matemática robusta, o SEBAL é amplamente utilizado em diversas partes do globo com intuito de analisar a dinâmica dos fluxos energéticos em superfície para com a atmosfera. A aplicação do SEBAL é essencial para as análises de gestão de recursos hídricos, mostrando ser um modelo usual em políticas públicas. Os pioneiros nesses estudos são Bastiaanssen et al., (1998), em que buscaram avaliar o desempenho do algoritmo em diferentes paisagens geográficas em sua primeira formulação. Nos últimos anos, o uso do SEBAL, principalmente suas adequações e melhorias técnicas, tem sido aplicado no contexto de gestão de recursos hídricos.

Em estudo na região Nordeste do Brasil, o modelo SEBAL foi aplicado com intuito de avaliar como o uso e cobertura da terra podem inferir no balanço de radiação e energia; em áreas urbanas, foram observados os maiores valores de albedo e temperatura de superfície, o que decresceu o Saldo de radiação, comportamento antagônico às coberturas naturais, nas quais

observou-se os maiores valores de energia disponível (FERREIRA et al., 2020). Ainda no Nordeste, o SEBAL foi testado e comparado com o produto MOD16A2 para analisar os efeitos da sazonalidade climática no balanço de energia (DOS SANTOS et al., 2020). Os autores observaram que o algoritmo não foi capaz de capturar os efeitos da estação seca, principalmente após comparações com medidas em campo. Os autores ainda argumentam que isso pode estar relacionado com a obtenção dos pixels âncoras do modelo.

No contexto agrícola, na Bacia do Rio Kimlobero Valley - Tanzânia, o modelo foi utilizado com intuito de entender a demanda hídrica em função da implementação do Corredor de Crescimento Agrícola do Sul da Tanzânia, entretanto, o algoritmo não apresentou bons coeficientes de correlação (SENKONDO et al., 2019).

Na China, o SEBAL foi comparado a outros 4 modelos, com objetivo de analisar as características de cada modelo. Esse trabalho buscou fornecer orientações e subsídios ao planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, essencialmente no tocante à pesquisas futuras em áreas semiáridas (SUN et al., 2020). No Egito, em uma porção irrigada na área central no delta do Nilo, o algoritmo SEBAL entrou como parâmetro integrador na avaliação da situação econômica da água em sistemas de irrigação, buscando auxiliar os tomadores de decisões e gerenciamento de recursos hídricos (ELNMER et al., 2019).

Quanto aos procedimentos de validação, principalmente dos componentes finais do SEBAL, a exemplo a evapotranspiração, em alguns trabalhos, apresenta aproximação com os dados de referência obtidos. Em estudo realizado na região sul do litoral de Pernambuco-NE, para uma cultura de cana-de-açúcar, foram encontrados erros absolutos de: 0,32, 0,06 e 0,50  $\text{mmd}^{-1}$ , e erro médio relativo de: 7,17, 1,43 e 10,80%, nos dias julianos 28, 238 e 249/2010 respectivamente (MACHADO et al., 2014). Para componentes do balanço de energia, Feng et al., (2020) comparando estimativas de sensoriamento remoto (SEBAL) e dados de campo (*Eddy Covariance*) mostraram que valores de H e LE estimados foram similares aos observados.

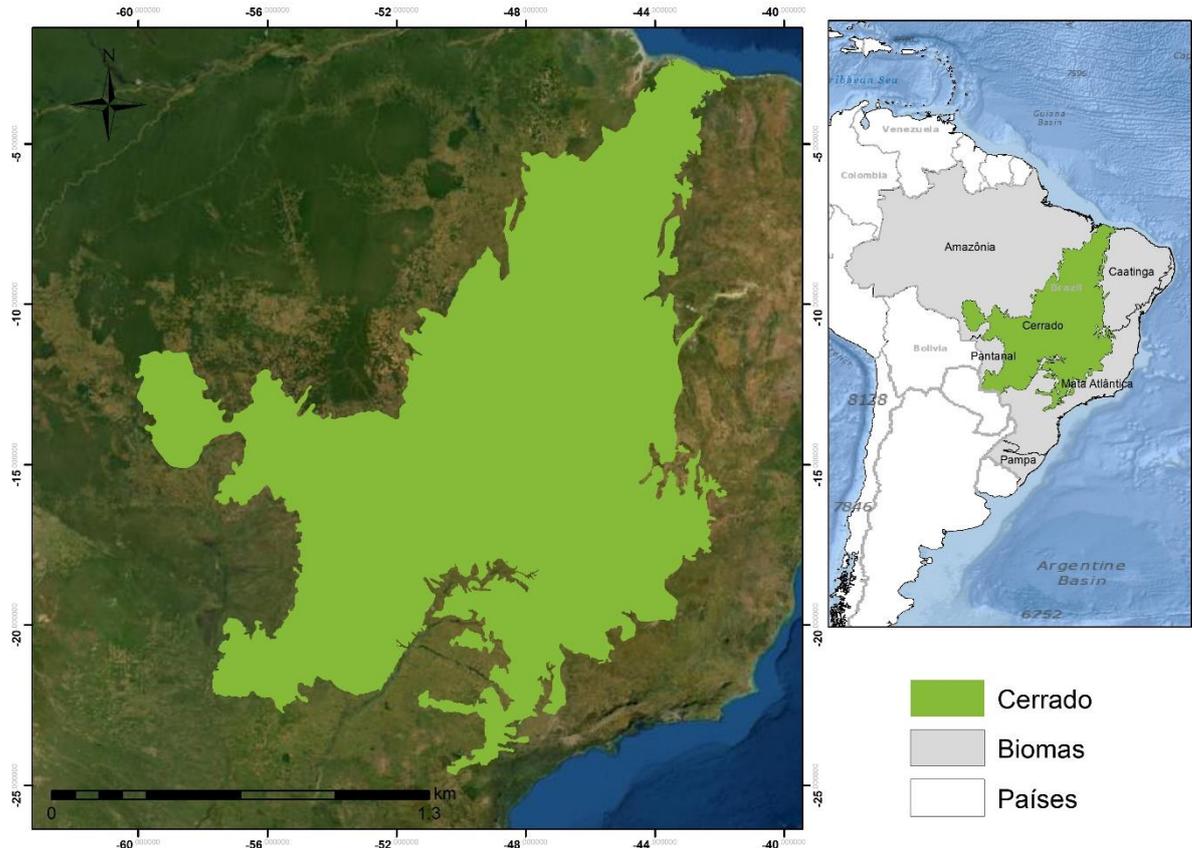
O fluxo de calor sensível é o parâmetro mais crítico do modelo, sobretudo sob as condições de obtenção, isto é, a diferença de temperatura entre a superfície e o ar, é obtida por meio de uma estimativa, com regressão linear, considerando extremos térmicos da cena estudada. Logo, espera-se que esses valores não sejam realísticos, no entanto, nesse estudo não buscou-se precisar com exatidão (os valores), e sim entender a dinâmica de comportamento sazonal.

No contexto geográfico, o modelo SEBAL é essencial, principalmente por dar norteamentos para análises ambientais. Os produtos do algoritmo SEBAL podem auxiliar na gestão de bacias hidrográficas, sobretudo no que diz respeito à quantificação da perda de água

por meio de evapotranspiração. Essas informações, em conjunto aos subprodutos do modelo, somam um pacote técnico para o planejamento ambiental e econômico de vastas regiões. Um dos atrativos dessas análises, sem dúvidas, é a obtenção gratuita e com fluidez temporal dos produtos, podendo formar um excelente banco de dados com informações precisas e robustas sobre o contexto ambiental. Nesse trabalho, as técnicas utilizadas serão essenciais para novos estudos comprometidos com a dinâmica climática de ecossistemas complexos como as Veredas.

### **1.3. Balanço de Radiação e Energia no Contexto do Cerrado Brasileiro**

O Cerrado é o segundo maior Bioma do Brasil, com uma área de aproximadamente 2.036.448 Km<sup>2</sup>, é limítrofe com a Amazônia, Caatinga, Pantanal e Mata Atlântica (Figura 2). O clima é Aw – tropical chuvoso – conforme a classificação de Koppen. O contexto geológico e geomorfológico do Cerrado é altamente variado, bem como suas compartimentações topográficas. Já os solos são predominantemente Latossolos (UFV; UFLA, 2010). No contexto fitofisionômico, o Cerrado é marcado por: Cerradão, Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca, Parque de Cerrado, Cerrado Sentido Restrito, Vereda, Campo Limpo, Campo Sujo, Campo Rupestre e Palmeiral (WALTER et al., 2015).



**Figura 2** - Localização do bioma Cerrado no Brasil, América do Sul. **Fonte:** IBGE (2004).

Do ponto de vista paisagístico, o Cerrado apresenta um mosaico diversificado com características naturais e antrópicas (SANO et al., 2019). Isso em função do massivo de ocupação deste Bioma, sobretudo com intuito exploratório, que por vez esteve atrelado aos objetivos governamentais, bem como projetos de incentivo ocupacional, como: Programa de Desenvolvimento dos Cerrados – POLOCENTRO, Programa de cooperação NipoBrasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados – PROCEDER e o Programa de Assentamento Dirigido do Alto Parnaíba – PADAP (DOS SANTOS; CARIBÉ, 2016).

É possível apontar esses programas como essenciais no que toca ao desenvolvimento agrícola do Cerrado, haja vista sua aptidão. Diante desse cenário favorável à mecanização, houveram conversões sistemáticas no uso e cobertura da terra, ocasionando sobremaneira a perda da vegetação nativa dando lugar a usos antropogênicos.

Em mapeamento no Cerrado, Sano et al., (2019) analisaram a dinâmica de uso e cobertura da terra no Bioma Cerrado entre 2002 e 2013, observaram que em 2013, cerca de 43,4% da vegetação nativa foi convertida em usos antrópicos. Este percentual pode elevar-se, pois, estudos apontam que até 2050 haverá ainda uma perda de 13,5% da cobertura nativa do Cerrado (DUTRA; DE SOUZA, 2017).

Tendo em vista esse cenário de mudanças na cobertura vegetal do Cerrado, alguns programas foram desenvolvidos, bem como o Monitoramento da Dinâmica do Uso e Cobertura da terra no Cerrado – TerraClass, o Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Biodiversidade Biológica Brasileira – PROBIO e o MAPBIOMAS. Esses programas dispõem de dados de sensoriamento remoto, sendo de grande eficiência para o monitoramento da dinâmica de mudanças no uso da terra no Bioma Cerrado, sendo essencial para as tomadas de decisões, bem como inserção em políticas públicas ambientais.

As alterações no uso e cobertura da terra influencia sistematicamente no balanço de radiação e energia, assim como na dinâmica de transporte de *momentum* e vapor para a atmosfera. Diante disso, é salutar para este trabalho, apontar estudos que demonstram as distorções da dinâmica uso da terra – componentes do balanço de radiação.

Na bacia do rio Mogi-Guaçu, o SEBAL/METRIC foi aplicado com intuito de obter o balanço de radiação diante da conversão de áreas nativas do Bioma e suas influências no clima local; foi constatado que o saldo de radiação em ambientes de Cerrado sentido restrito foi sistematicamente mais elevado do que em cana-de-açúcar e relativamente semelhante à áreas de eucalipto. Após essas constatações, esse estudo chega à conclusão de que o SEBAL/METRIC é de relevância ímpar no monitoramento da distribuição espaço-temporal do Rn (GOMES et al., 2009).

Em determinação do saldo radiativo na Ilha do Bananal – TO, observou-se que ambientes de Cerrado detém maiores porções de energia para suas necessidades biofísicas, e, em contrapartida, áreas antropizadas dispõem de menores porções; ainda nesse estudo, observou-se conclusões de que conversões de áreas de Cerrado em ambientes antropizados tendem a distorcer as propriedades do balanço de radiação à superfície (GUSMÃO et al., 2012).

Dialogando com os autores supracitados, é perceptível que ambientes antropizados, sobretudo com influência agropecuária, tende a inferir nos componentes do balanço de radiação. O albedo de superfície, nesse caso, é essencial para entender a dinâmica de energia disponível; em estudo realizado na bacia do rio Corumbataí – SP, observou-se que áreas destinadas aos sistemas agropastoris tenderam a elevar a reflexão de ondas curtas (GIONGO; VETTORAZZI, 2014).

Analisando os impactos da alteração do uso e cobertura do solo em áreas de Cerrado no estado de Mato Grosso, observou-se que conversões de áreas nativas em sistemas agrícolas tenderam a decrescer os valores de saldo de radiação, sobretudo em função da mudança nas propriedades de biomassa; constatou-se ainda que, as áreas de mata ciliar e Cerrado sentido restrito, obtiveram maiores valores de saldo de radiação em comparação aos demais usos da

terra em análise. É oportuno mencionar que a temperatura de superfície possui relação inversamente proporcional ao saldo de radiação, isso em função da influência da  $T_s$  na emitância de onda longa (FAUSTO et al., 2016).

Na bacia do Rio Vieira – Norte de Minas Gerais, estudo aponta que em ambientes de Cerrado, a evapotranspiração é maior em relação à determinados usos antrópicos – pastagem, mineração e urbano – já para outro uso antrópico (eucalipto) apresentou semelhança em relação à evapotranspiração de áreas de cerrado (LEITE et al., 2019). Em análise na bacia do Rio Paranaíba, em áreas no Cerrado, observou-se variabilidade espacial da evapotranspiração real através do MODIS em conjunto com o algoritmo SEBAL, em vários usos e coberturas da terra, dentre esses: agricultura, cerrado, floresta, corpos hídricos, pastagens, áreas urbanas, solo descoberto, agricultura irrigada e silvicultura (MARTINS; ROSA, 2019).

Buscando compreender os fluxos de energia e evapotranspiração com o modelo METRIC no Cerrado Brasileiro, observou-se que sistemas agrícolas apresentaram comportamento na dinâmica de consumo hídrico proporcional à disponibilidade de energia diante do ciclo da cultura. Já as espécies lenhosas e de savanas, na estação seca, mantém o consumo hídrico, sobretudo considerando o sistema radicular dessas; outrora, esse trabalho aponta que a substituição de ambientes de Cerrado não perturbado em culturas agrícolas, tende a alterar o balanço energético, distribuição hidrológico, e ademais (SILVA OLIVEIRA et al., 2018).

Diante dos estudos apresentados, observou-se que as alterações no uso e cobertura da terra no Cerrado, são grandes balizadores no que toca aos componentes do balanço de radiação e energia, o que infere sistematicamente no contexto hídrico do Cerrado.

Tendo em vista essas distorções (perda de cobertura vegetal) nas extensões do Cerrado, entende-se que é fundamental a análise no contexto do balanço de energia dos ambientes de Veredas – como é o objetivo do presente trabalho – visto que estas são potencialmente frágeis do ponto de vista ambiental, bem como provedoras de produção de água para determinados rios, essencial na manutenção da biodiversidade, com variedade de fauna dependente deste ambiente.

#### **1.4. Veredas: Aspectos Físicos e Aplicações de Sensoriamento Remoto**

A Vereda é um importante subsistema savânico do Bioma Cerrado, a qual sua gênese consiste em fatores físicos salutares: presença de relevo aplainado, substrato geológico constituído por permeabilidades diversificadas e clima com duas estações bem definidas

(ALENCAR-SILVA; MAILLARD, 2011; AUGUSTIN; DE MELO; ARANHA, 2009). Do ponto de vista do estrato vegetacional, o ambiente de Vereda possui presença de herbáceo-graminoso e outro arbóreo-arbustivo, no qual há predomínio de buritis (*Mauritia flexuosa L. f.*) (Figura 3).



**Figura 3** - Vereda Típica. **Org.** Silva, L.A.P, 2020.

No que toca as diferentes formas de Veredas, menciona-se que existem as Veredas com superfície aplainada, de encosta, com superfície tabular e de encosta, ainda menciona-se as Veredas de fundo de vale (BOAVENTURA, 1978). Análises no Parque Estadual Veredas do Peruaçu apontaram uma caracterização de diferentes tipologias de Veredas, em que foram considerados aspectos como umidade do solo, aspectos vegetacionais e hidrológicos dos cursos d'água; dentre as tipologias, menciona-se a Vereda de cabeceira, sendo nascentes do rio Peruaçu e Córrego Forquilha. Essas são estreitas com menos de 100 metros de largura, com poucas áreas de exsudação da superfície freática, correspondendo ao estágio inicial da Vereda, no qual apresentam estrato arbóreo estreito e solo com menor teor de umidade; outro grupo, são as Veredas típicas, com estágio mais avançado, estrato arbóreo e arbustivo largo e curso d'água e várias exsudações do lençol freático; a outra tipologia, é a Vereda de transição ou Vereda/mata

ciliar, a faixa arbórea é relativamente mais larga, com o estrato arbustivo sendo estreito, no sentido para com o rio, o dossel é formado por galerias, e o entalhe do rio é nítido (ALENCAR-SILVA; MAILLARD, 2011). Salienta-se que a realização desse estudo foi através de técnicas de sensoriamento remoto, sobretudo dados de RADAR.

Do que diz respeito ao sensoriamento remoto, poucos são os trabalhos que abordam às áreas de Veredas. Dessa forma, o SR foi aplicado na APA do Rio Pandeiros com intuito de compreender os níveis/estágios de conservação de Veredas, sendo analisadas a Vereda almescla e capivara; os autores concluíram que, a almescla se mostrou mais conservada ao se comparar com a capivara (BOAVENTURA, 1978).

Em outro estudo, no contexto de propriedades do campo térmico, observou-se que ações antropogênicas no entorno de Veredas (sobretudo avanços de sistemas agropastoris) tenderam a elevar as médias termais nesses ambientes, isso num prisma espaço-temporal (SILVA; LEITE; DE MAGALHÃES FILHO, 2018). Na APA do rio Pandeiros, analisando a distribuição espacial da temperatura de superfície, observou-se que em ambientes de Veredas, registrou-se as menores médias termais, mantendo-se mais elevadas no período seco e menos no período úmido (LEITE et al., 2018a).

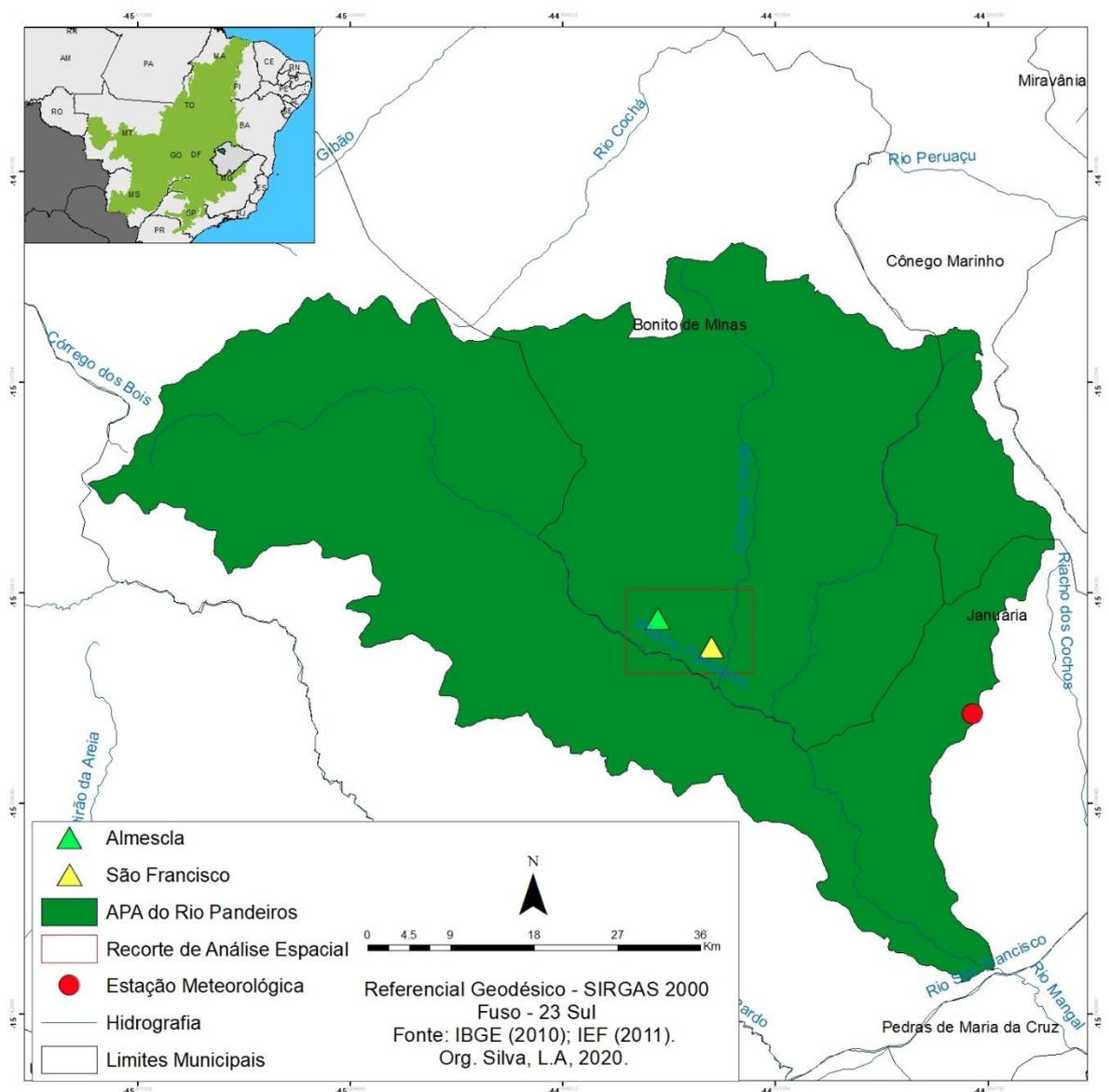
Em análise ainda na APA do rio Pandeiros, buscou-se compreender a distribuição do saldo radiativo em diferentes usos e coberturas da terra, as áreas de Veredas foram as que obtiveram maiores porções de energia, sobretudo em função da disponibilidade hídrica nesses ambientes (LEITE et al., 2018a). Veloso, Silva e Ferreira (2020), analisaram na APA do Rio Pandeiros as variações dos componentes do balanço de radiação e energia para Vereda Almescla. Os autores mostraram que os componentes seguem a dinâmica da sazonalidade climática da região de estudo.

É observável que existem poucos trabalhos na literatura que analisam os ambientes de Veredas no cunho dos componentes do balanço de radiação e energia, entretanto, nos poucos que se tem, fica notório os avanços sistemáticos de coberturas antropogênicas, sendo essencial para responder as questões alavancadas nesse trabalho.

## 2. Materiais e Métodos

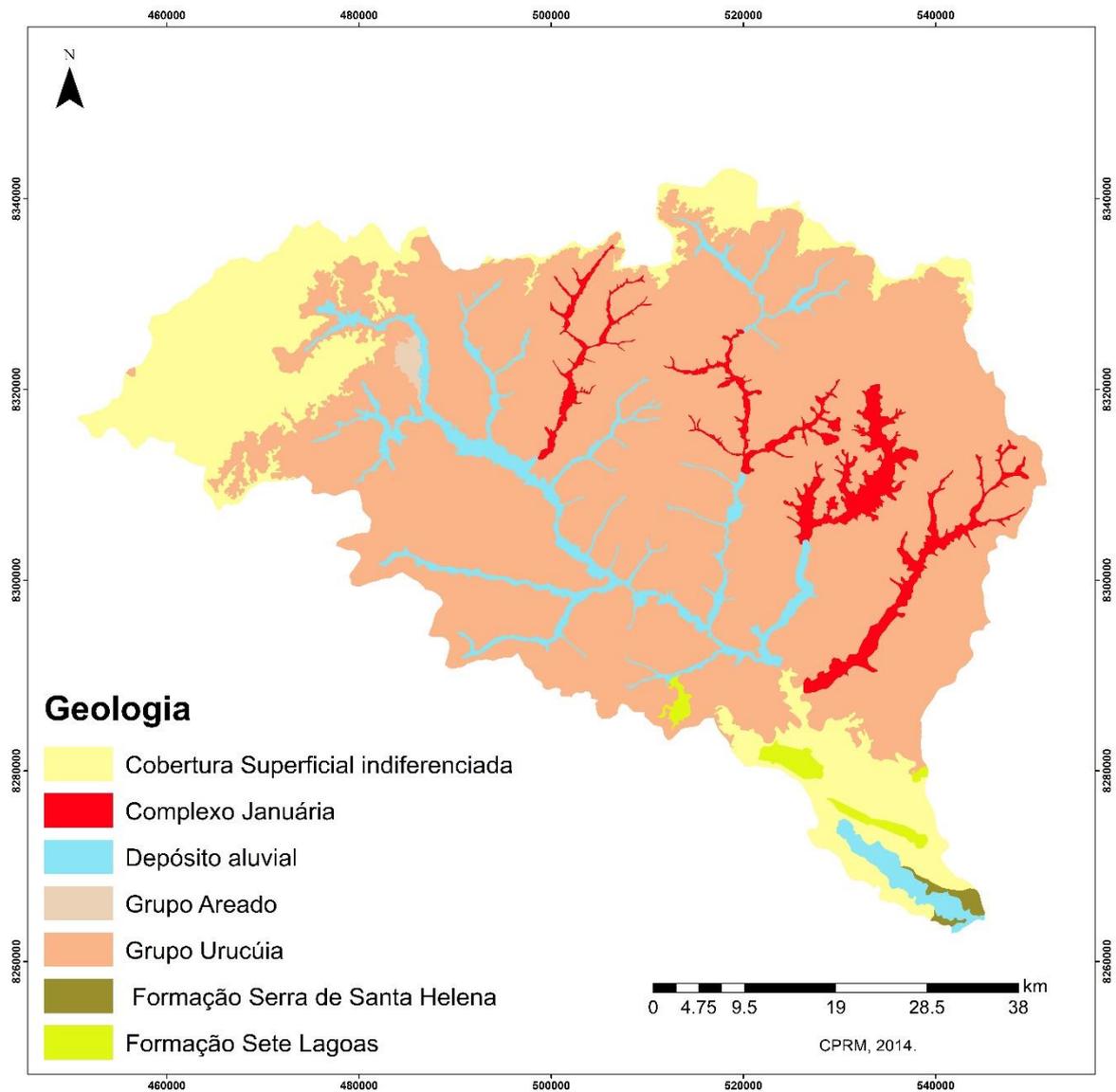
### 2.1. Caracterização da Área de Estudo

A APA-RP (criada pela Lei 11.901 de 1995) está localizada no Norte de Minas Gerais, entre os municípios de Bonito de Minas, Cônego Marinho e Januária, na porção leste do Cerrado Brasileiro (Figura 4). O limite para análise espacial, possui área de 120,26 Km<sup>2</sup>. Salienta-se que esse limite foi definido observando que dentro deste, existe um complexo paisagístico que correspondeu com variações às covariáveis biofísicas. As Veredas Almescla e São Francisco, estão próximas (distância de 6,39 Km) e localizadas na porção central.



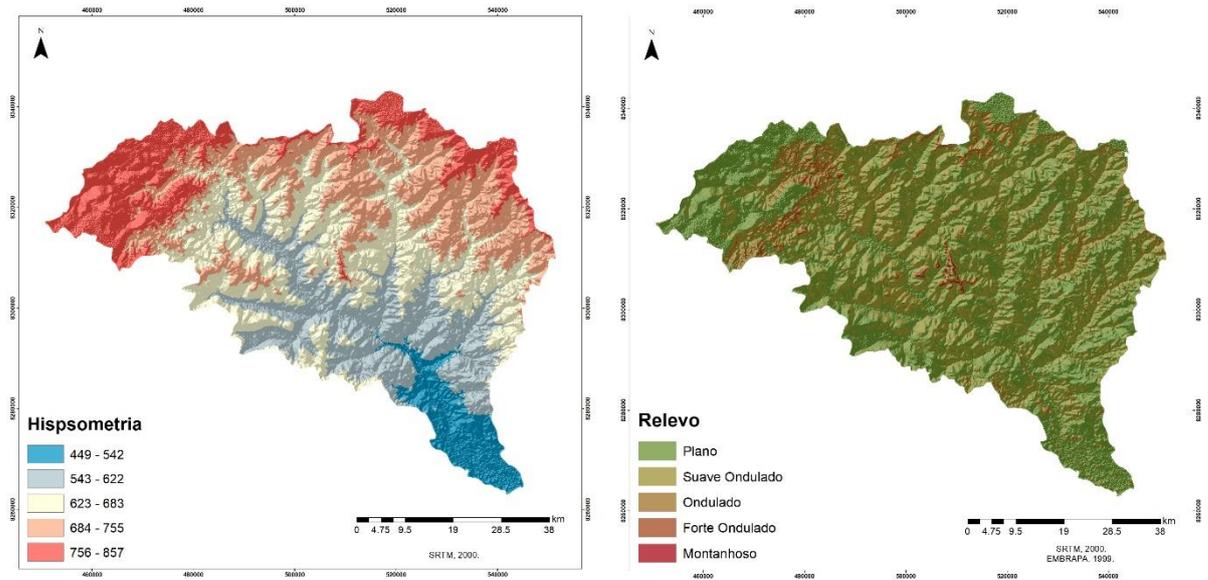
**Figura 4** - Localização da Área de Estudo.

Do ponto de vista climático, a área de estudo se encontra no semiúmido (com temperatura média do ar acima de 18 °C em todos os meses) (SILVA et al., 2020). Quanto à Geologia da área, há predominância do Grupo Urucúia (Figura 5) (do Cretáceo, apresentando arenito, como minério predominante). Nas áreas onde situam-se as drenagens na APA-RP, observa-se depósitos aluviais (com depósitos siliciclásticos Fluviais do Neogeno) e extensões do complexo Januária (com ortognaisses e intercalações de anfibolito e metaultramáfica do Mesoarqueano). As pequenas extensões do Grupo Areado, no extremo norte, são representadas por folheto e arenitos do Cretáceo. Nas porções norte, noroeste, nordeste e sul, observa-se distribuição de coberturas superficiais indiferenciadas (com sedimentos clásticos e lateríticos ferruginosos do Neogeno). Ainda na porção sul, encontram-se extensões da formação da Serra de Santa Helena (com argilitos, siltitos ardosianos, marga e lentes de calcário, do Criogeniano). A formação Sete Lagoas, está disposta predominantemente no sul da APA-RP, com calcário calcítico e calcilítico do Ediacarano.



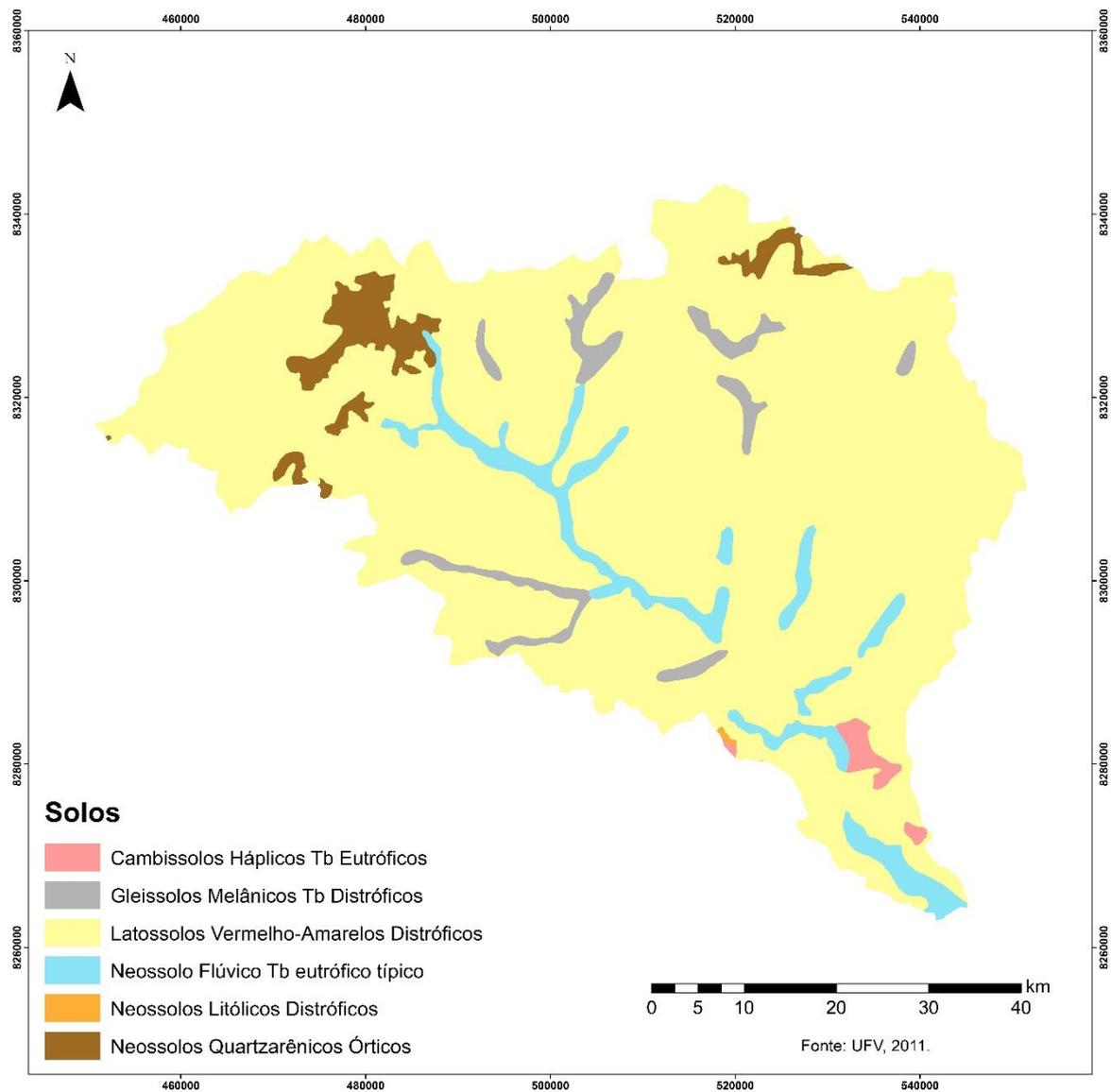
**Figura 5** - Geologia Simplificada da APA do Rio Pandeiros.

Geomorfologicamente, a APA situa-se em superfícies aplainadas, suavemente onduladas, onduladas, fortemente onduladas e aspectos montanhosos (Figura 6). Do ponto de vista hipsométrico, nota-se espacialização de superfícies que variam de 450 a 860 metros na APA-RP. As superfícies com cotas altimétricas mais acentuadas estão localizadas a norte, noroeste e nordeste. Já as áreas com menores cotas, estão situadas no extremo sul, sendo na porção do Pântano da APA, o qual é um refúgio ecológico com rica biodiversidade. Fazendo paralelo entre o mapa de localização e hipsométrico, nota-se que o recorte da análise espacial, possui cotas entre 550 e 760 metros.



**Figura 6 - Hipsometria e Relevo da APA do Rio Pandeiros.**

No que diz respeito aos solos, há predominância de Latossolos vermelho-amarelo distrófico, em todas extensões da APA-RP. São solos antigos, altamente intemperizados. Diante disso, são solos resistentes à erosão, principalmente considerando a estabilidade dos agregados, em função dos óxidos de Fe e Al (KER, 1997; SCHAEFER; FABRIS; KER, 2008). Chama-se atenção também para os Gleissolos, os quais estão dispostos nos ambientes de Veredas, típicos para essas áreas, com aspecto físico pastoso, baixa drenagem e com elevado teor de matéria orgânica (Figura 7).



**Figura 7** - Pedologia Simplificada da APA do Rio Pandeiros.

Quanto à hidrografia, além do Rio Pandeiros, na porção leste da APA-RP, menciona-se o córrego Catolé e o Riacho Borrachudo. Nas adjacências da APA-RP, tem-se os Rios Cochá (ao norte) e Peruaçu (ao nordeste). Ainda a norte, está disposto o Riacho do Gibão, e a noroeste, o córrego dos bois. A oeste, faz limite com o Rio Pardo, ao sul o Rio Pandeiros deságua no São Francisco, e a leste limita-se aos Riachos dos Cochos e da Cruz.

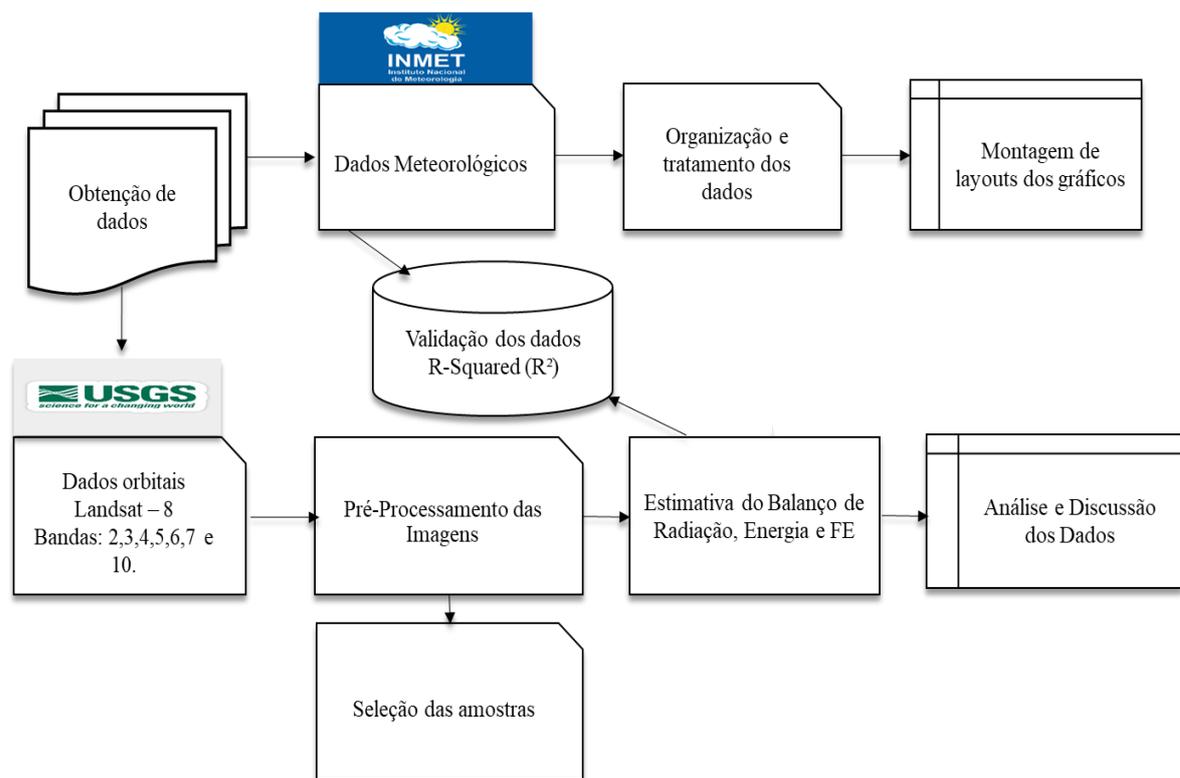
No que toca à vegetação, a área de estudo é marcada por Cerrado Denso, Cerrado Típico e Ralo, Veredas e Sistemas Florestais (Mata Ciliar e Mata Seca) (DE MAGALHÃES BETHONICO, 2010). Do ponto de vista antropogênico, a área de estudo apresenta extensões de cultivos agrícolas, pastagens e silviculturas. Diante disso, é oportuno mencionar sobre o

contexto histórico de ocupação da área de estudo, pois a silvicultura, a partir de 1970, tendeu a ser fator determinante para mudanças sistemáticas nos aspectos paisagísticos da APA-RP, sobretudo inferindo na vegetação natural (DE MAGALHÃES BETHONICO, 2010).

Após essa caracterização, observa-se que a APA-RP (consequentemente o recorte escolhido para análise espacial) possui características ímpares no contexto paisagístico (variação de uso e cobertura do solo), sendo importante no comportamento de variáveis biofísicas, sobretudo aquelas discutidas no presente estudo.

## 2.2. Procedimentos Técnicos e Operacionais

Para execução desta pesquisa, seguiu-se algumas etapas operacionais, desde a obtenção dos produtos orbitais, à análise e discussão dos dados (fluxograma da Figura 7).



**Figura 8** – Fluxograma sistemático das etapas operacionais.

## 2.3. Aquisição de dados

Os produtos orbitais são oriundos do satélite Landsat 8 (sensores OLI e TIRS), referentes à órbita e ponto 219/071. As imagens referem-se às seguintes datas: 21/01, 22/02,

13/05, 14/06 e 30/06, todas do ano de 2019. Necessitou-se dos canais nos espectros visível (intervalo espectral de 0,45 a 0,67  $\mu\text{m}$ ), infravermelho próximo (0,85 a 0,88  $\mu\text{m}$ ), médio (1,57 a 2,29  $\mu\text{m}$ ) e termal (10,60 a 11,19  $\mu\text{m}$ ). Salienta-se que, com exceção do espectro infravermelho termal (que possui resolução de 100 metros) os demais intervalos analisados possuem resolução espacial de 30 metros, ou seja, a capacidade de distinguir os alvos na superfície, restringe-se a essa célula mínima. Esses produtos foram disponibilizados gratuitamente pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos da América. É oportuno mencionar que a escolha desses períodos se deu, principalmente, por compreenderem a sazonalidade climática (verão e inverno). Para fim de entrada no modelo matemático, foram adquiridos dados meteorológicos na estação de Januária, sob controle do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em escala horária para os dias escolhidos nesse estudo. Dentre esses produtos, menciona-se: temperatura do ar, velocidade do vento e radiação solar global. No entanto, utilizou-se a umidade relativa do ar e pluviosidade média (escala mensal) para contemplar a caracterização meteorológica simplificada dos períodos analisados.

#### **2.4. Organização dos Dados Meteorológicos**

Os dados meteorológicos além de serem parâmetros de entrada para o algoritmo SEBAL, foram utilizados nesse estudo para caracterizar de maneira simplificada os aspectos meteorológicos nos períodos analisados. Foram organizados em escala horária, sobretudo contemplando o fotoperíodo. A escolha do fotoperíodo, se deu, por utilizar nesse estudo os dados orbitais no momento da passagem do satélite, assim, poderia entender a influência exercida por esses parâmetros (meteorológicos) nos obtidos no aspecto orbital.

#### **2.5. Modelagem do Balanço de Energia**

Para modelagem do Balanço de energia, utilizou-se o modelo SEBAL, o qual teve suas equações inseridas no modelador matemático do ERDAS IMAGINE. Salienta-se que nessa etapa serão apresentadas as equações, e não os aspectos teóricos, haja vista que já foram representados detalhadamente no referencial teórico.

A primeira etapa, a qual requer o pré-processamento com a conversão dos níveis digitais em reflectância e radiância do espectro emissivo, bem como a formulação dos índices de vegetação (NDVI, SAVI, LAI), albedo planetário e corrigido, as emissividades (termal e de onda longa) e temperatura de superfície, seguiram as indicações de Bastiaanssen et al., (1998b).

Assim, para o balanço de energia, obteve-se inicialmente o saldo de radiação ( $R_n$ ), conforme expressão 03:

$$R_n = R_s \downarrow - \alpha R_s \downarrow + R_L \downarrow - R_L \uparrow - (1 - \epsilon) R_L \downarrow \quad (03)$$

Em que  $R_s \downarrow$  representa a radiação solar global, obtida na estação meteorológica de Januária/MG,  $\alpha$  é o albedo de superfície,  $R_L \downarrow$  e  $R_L \uparrow$ , compreendem às ondas longas incidentes e emitidas, respectivamente, e  $1 - \epsilon$ , representa a fração da onda longa que é refletida. Na sequência, foi obtido o fluxo de calor no solo ( $G$ ) (Equação 04):

$$G/R_n = \left[\left(\frac{T_s}{a}\right)(0,0038a + 0,0074a^2)(1 - 0,98NDVI^4)\right] \quad (04)$$

As expressões apontadas nessa equação já foram explicitadas. Dessa forma, após obter o  $G$ , deu início ao processo de obtenção do fluxo de calor sensível, sendo este o mais complexo do modelo SEBAL.

A mensuração de  $H$  é feita a partir da velocidade do vento e temperatura de superfície, buscando obter a diferença de temperatura em dois níveis acima da superfície do solo (Equação 05):

$$H = p \cdot C_p \cdot \frac{a + bT_s}{R_{ah}} \quad (05)$$

Em que  $p$  é a umidade específica do ar (sendo considerada constante, igual a 1,15),  $c_p$  é o calor específico do ar,  $a$  e  $b$  são coeficientes de calibração para obtenção do  $H$ ,  $R_{ah}$  é a resistência aerodinâmica. Inicialmente, para adentrar em dados de SR, é necessário obter o coeficiente de rugosidade ( $z_{om}$ ) a nível de estação, considerando que os dados foram obtidos a 10 metros de altitude. No entanto, a 10 metros de superfície, a velocidade do vento e conseqüentemente as flutuações turbulentas tendem a sofrer influência dos elementos na superfície. Diante disso, extrapola-se as estimativas a 200 metros de altitude, em que assume-se que a superfície não afeta a velocidade do vento. Logo, após assumir essa condição, a rugosidade da superfície (antes feita em nível de estação meteorológica) foi especializada pixel a pixel para os dados de SR (Equação 06):

$$Z_{om} = \exp(-5,809 + 5,62SAVI) \quad (06)$$

SAVI é o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo. Com o coeficiente de rugosidade para toda cena, é possível obter a velocidade de fricção (Equação 07).

$$U * = \frac{Ku200}{\ln\left(\frac{200}{Zom}\right)} \quad (07)$$

Em que Ku200 representa a constante de Von Karman considerando a altitude limite de 200 metros. Por fim, após isso obteve-se a resistência aerodinâmica (Equação 08):

$$Rah = \frac{\ln\left(\frac{Z2}{Z1}\right)}{U*K} \quad (08)$$

Z2 e Z1 representam os níveis altimétricos acima da superfície, sendo 2,0 e 0,1 metros, respectivamente. Z1 representa a altura da vegetação que circunda o termômetro que mede a temperatura do ar na estação e Z2 é a altura em que a temperatura é medida. Na próxima etapa, mensurou-se a diferença entre a temperatura de superfície e o ar (dT), conforme Equação 09:

$$dT = a + b * Ts \quad (09)$$

a e b são coeficientes de calibração, os quais são obtidos através da escolha de pixels âncoras que mostram os extremos termais na cena analisada, sendo o pixel frio e quente.

No pixel frio, que deve-se obter a temperatura deve ser obtida em uma área com cobertura vegetal densa e com abundância de disponibilidade hídrica. Após isso, assume-se pressupostos, de que para este pixel, o fluxo de calor latente é máximo, e o calor sensível é nulo, ou seja, não há gradiente vertical de temperatura entre superfície e camadas adjacentes a ela. Os valores de H na carta (raster) para os pixels com temperaturas no limite da Ts do pixel frio, serão praticamente nulos. Já para o pixel quente, a escolha deve ser dada em áreas com o mínimo de biomassa, solo exposto, por exemplo, o que infere em valores nulos de calor latente e máximos de calor sensível, assumindo que há gradiente vertical térmico para este pixel, o que ocasiona a transferência intensa de calor para o ar. A Ts, Rn., G e Rah, são obtidos para o pixel quente. Nas imagens de H, os maiores valores serão apresentados para as áreas com temperatura de superfície no limite da obtida para o pixel quente.

Para obter a e b, tem-se as equações 10 e 11:

$$b = (Rn - G) * (Rah) / (p * cp) * (Tq - Tf) \quad (10)$$

$$a = - b * Tf \quad (11)$$

Os coeficientes (a e b) apresentam as condições de disponibilidade de energia (a razão entre Rn e G) para o H, a resistência aerodinâmica, a densidade específica e calor específico do ar. Esses coeficientes ainda representam, através da amplitude entre Tq e Tf, os pixels em que ocorrem a dT, neste caso, as células com valores acima da Ts obtida para o pixel frio. Nesse sentido, dT tem como limite o valor da célula do pixel quente.

Os valores obtidos de H estão sob condições neutras da atmosfera, dessa forma, aplica-se o comprimento de Monin-Obukov (L), conforme mencionado no referencial teórico. Para este trabalho usou o cálculo para a atmosfera convectiva, ou seja, instável (Equação 12):

$$L = -\frac{pcpu^*Ts}{kgH} \quad (12)$$

Em que g é o módulo do campo gravitacional terrestre. É necessário aplicar os coeficientes de correção de estabilidade atmosférica para momentum e transporte de calor, salienta-se que, para obtenção desses coeficientes, tem-se a entrada do L(instável). Ainda é importante apontar que, esses coeficientes são para ajustar o perfil de turbulência do vento considerando a condição de estabilidade atmosférica obtida, nesse caso a instável (convectiva). Para velocidade de fricção, utilizou-se a Equação 12:

$$U^* = \frac{U_{200} * K}{\ln\left(\frac{200}{z_{0m}}\right) - \psi_m(200)} \quad (12)$$

Em que  $\psi_m(200 \text{ m})$ , é o coeficiente de correção de estabilidade para o transporte de momentum a 200 metros. Para a correção da resistência aerodinâmica, seguiu-se a Equação 13:

$$Rah = \ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right) - \psi_{mh}(z_2) + \psi_m(z_1) / u * k \quad (13)$$

Em que  $\psi_{mh}(z_2)$  e  $\psi_m(z_1)$  são coeficientes de correção para estabilidade para transporte de calor a 0,1 e 2 metros.

Após a obtenção de H com essa condição atmosférica (instável), correção de momentum e transporte de calor, é preciso realizar 8 a 9 iterações matemáticas para obter valores consistentes. Na sequência, obteve-se o fluxo de calor latente (LE), de acordo com a Equação 14:

$$LE = Rn - G - H \quad (14)$$

Essa equação pressupõe que, já se teve a utilização da energia para G e H, o restante será utilizado em LE. Por fim, obteve-se a fração evaporativa (FE) conforme Equação 15:

$$FE = \frac{LE}{Rn-G} \quad (15)$$

## 2.6. Validação Estatística

Para validação estatística selecionou-se a temperatura de superfície (Ts), pois dos produtos obtidos pelo modelo SEBAL essa é a mais viável economicamente para área de estudo, visto que a comparação foi feita com dados de temperatura do ar horária do INMET. Os dados foram selecionados na estação de Januária/MG (-15.448054 de Latitude e -44.366321 de Longitude, a 480 metros de altitude).

Para avaliar os dados modelados utilizou-se duas métricas, o R<sup>2</sup> (Equação 16) e RSME (Raiz do Erro Médio Quadrático) (Equação 17), pois mostram a tendência de correlação entre as variáveis e o ajuste dos parâmetros do modelo SEBAL em relação ao observado na estação, respectivamente.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_n (X_{obs,i} - X_{mod,i})^2}{\sum_n (X_{obs,i} - \bar{X})^2} \quad (16)$$

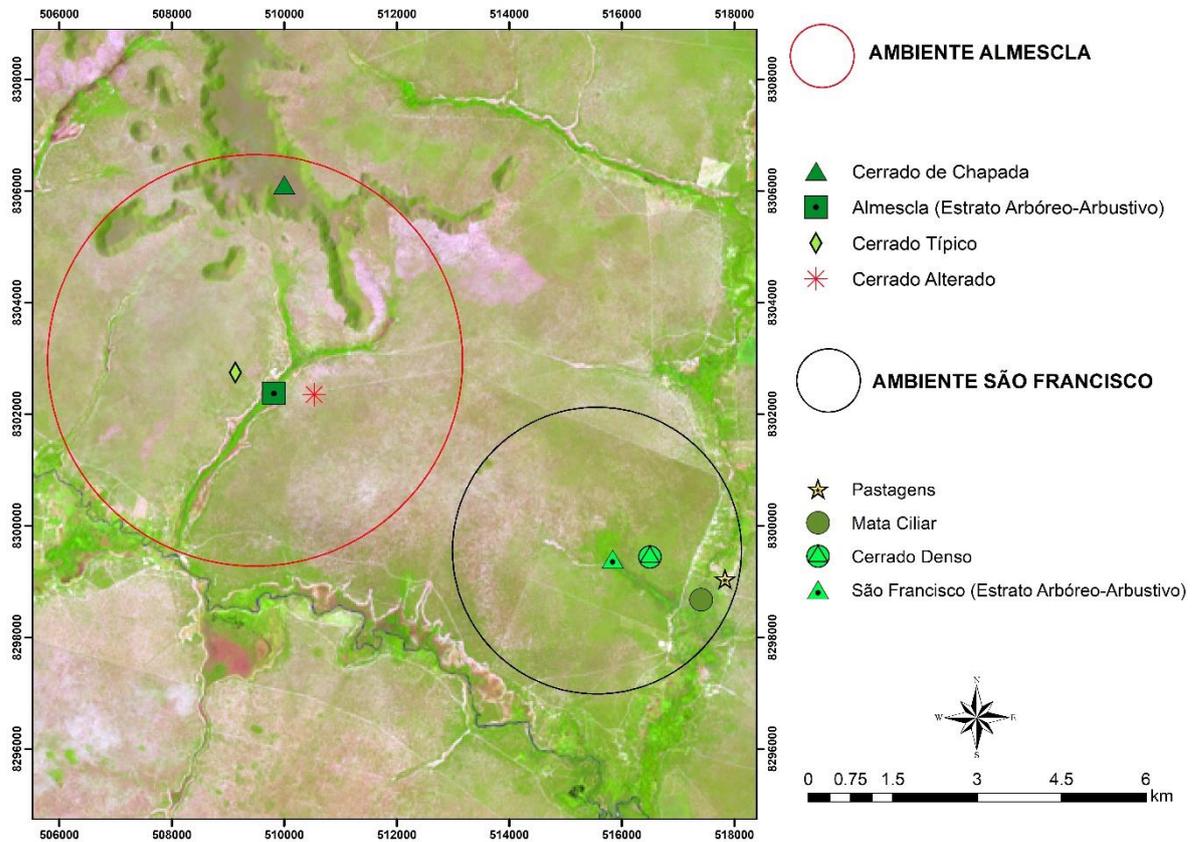
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{mod,i})^2}{n}} \quad (17)$$

Onde  $x_{ob}$  são os valores observados e  $x_{ob}$  são os valores modelados,  $n$  é o número de observações. Salienta-se que esses procedimentos foram realizados no software R (RCORE, 2016).

## 2.6. Seleção das Amostras

Foram selecionados 2 ambientes de Veredas, uma com o entorno alterado (Almescla), outra com entorno conservado (São Francisco). Foram analisados os usos e coberturas da terra, considerando os aspectos do ambiente em que se inserem (sobretudo relevo). No entorno da Vereda Almescla, foram selecionadas as seguintes amostras: Cerrado em Chapada, Cerrado Alterado, Cerrado típico e os Estratos Arbóreo e Arbustivo da Vereda Almescla. Para o

Ambiente São Francisco, selecionou-se: Cerrado Denso, Mata Ciliar, Pastagens e Estratos Arbóreo e Arbustivo.



**Figura 9** – Localização das amostras nos ambientes Almescla e São Francisco.

Para o ambiente da Almescla foram coletados 48 pontos amostrais, para a São Francisco coletou-se 25 pontos. Não aplicou-se técnica estatística para seleção das amostras, o que não incorre de erro, pois seguiu-se a fotointerpretação, bem como conhecimento prévio de campo conforme feito em Silva et al., (2020). Como os pontos representam os pixels de uma imagem Landsat 8, para o ambiente Almescla, as áreas amostras representam 43.200 m<sup>2</sup> (grid de 30x30) e 22.500 m<sup>2</sup> (30x30). A quantidade de pontos se deu em função das larguras dos estratos das Veredas, em que a Almescla possui largura de ~189 metros e a São Francisco ~95. A partir da seleção de pontos para os estratos, seguiu-se o mesmo padrão para as classes de usos e coberturas do entorno, padronizando a quantidade de pontos considerando as seleções para cada estrato da Vereda.

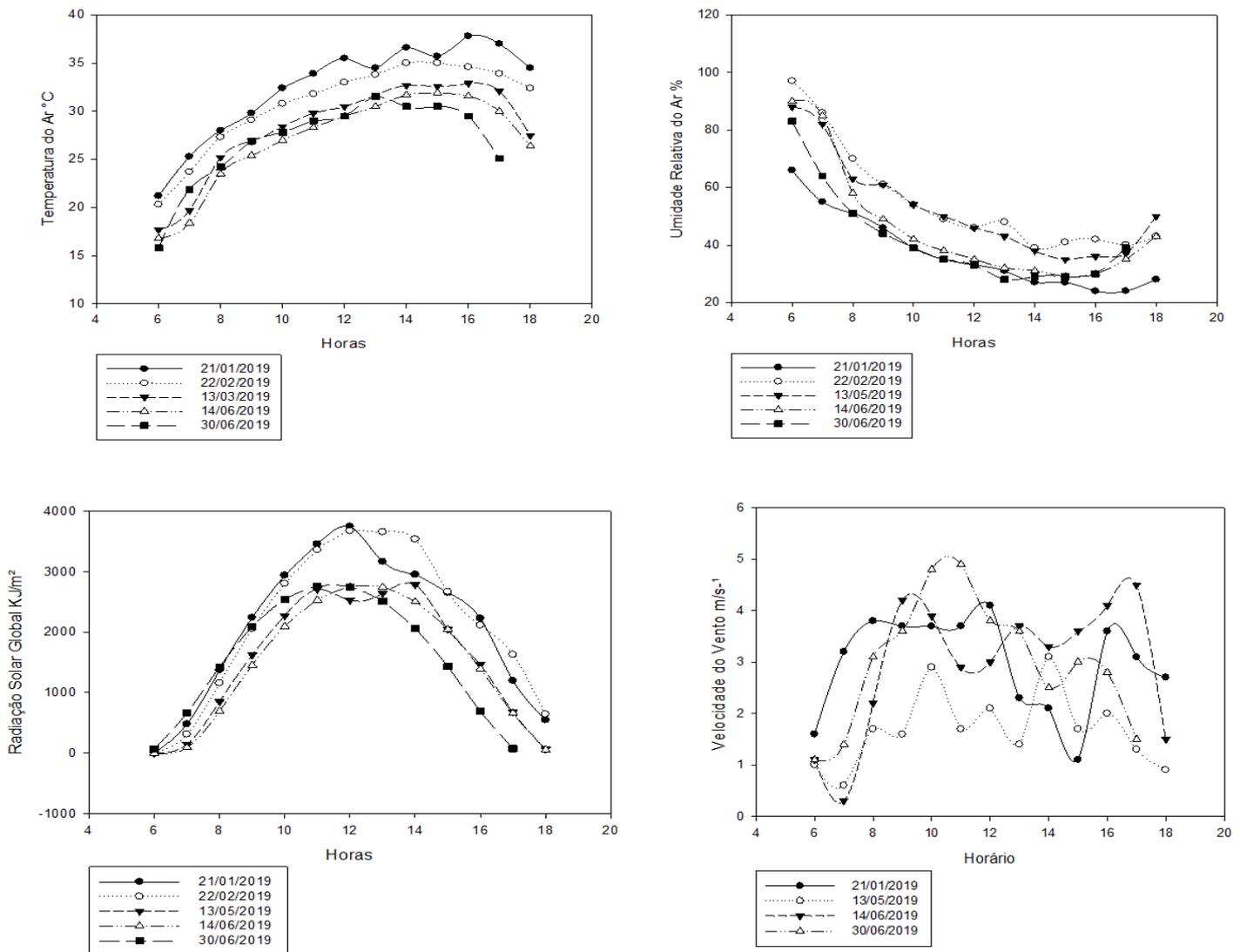
Com as amostras selecionadas, foram realizados os procedimentos analíticos, extraindo os parâmetros nas cartas de NDVI, Ts, Rn, G, H, LE e Fração Evaporativa para cada período

de análise. Em planilhas, os dados foram inseridos no software R, visando a criação dos gráficos de boxplot e análises de correlações (Coeficiente de Pearson).

### 3.Resultados e Discussão

#### 3.1. Aspectos Meteorológicos

Os aspectos meteorológicos escolhidos para análise (temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar global ( $Q_g$ ) e velocidade do vento) foram organizados em dados horários (Figura 10).



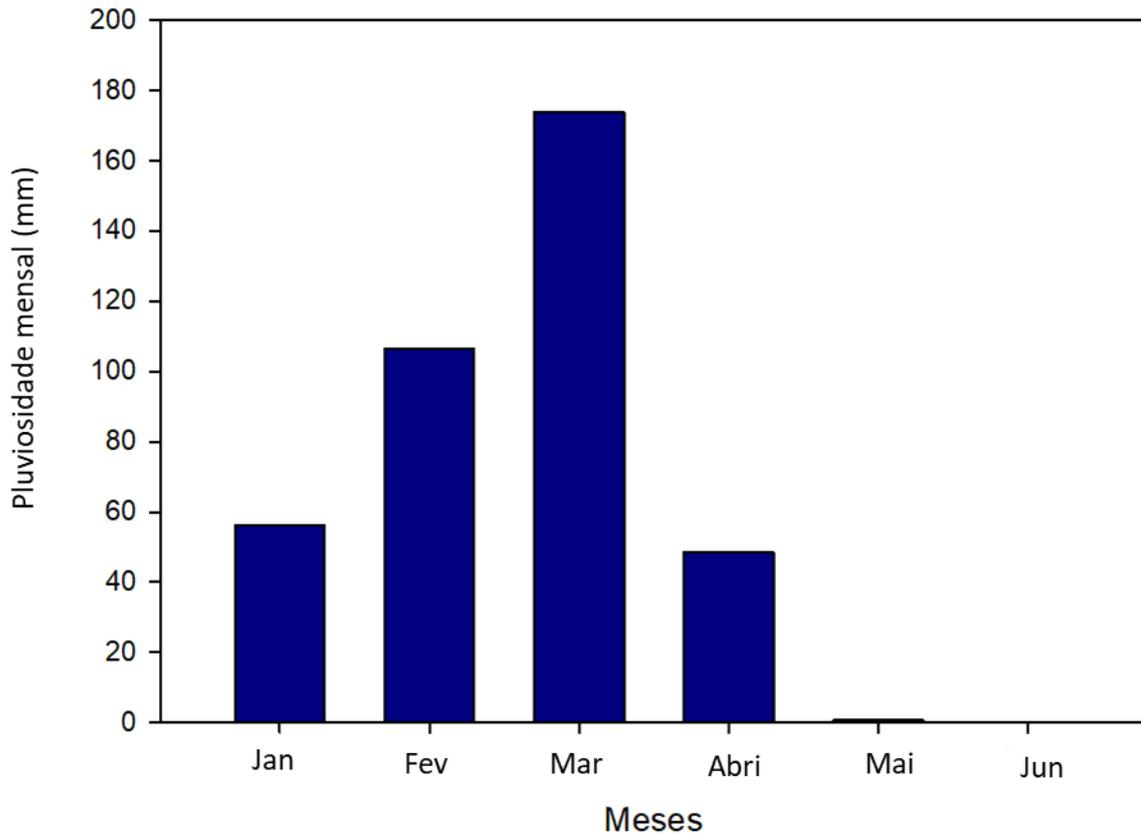
**Figura 10** - Distribuição horária da Temperatura do Ar, Umidade Relativa do Ar, Radiação Solar Global e Velocidade do Vento para 21/01, 22/02, 13/05, 14/06 e 30/06 do ano de 2019.

De modo geral, os menores valores de temperatura do ar foram registrados nas primeiras horas do fotoperíodo (entre 6 e 7 horas), coincidindo com os menores valores de  $Q_g$ . Isso porque é um período no qual os raios solares estão oblíquos à superfície, devido à maior inclinação do

astro, que proporciona a menor intensidade da incidência da radiação (QUERINO et al., 2016). Os maiores valores de temperatura do ar, foram entre 10 e 14 horas, momento de ascensão acentuada do sol, em que registrou-se os maiores valores de  $Q_g$ . Isso é em função dos raios estarem perpendiculares à superfície (incidência intensa, devido ao menor tempo solar). Outro comportamento que pode ser observado, é que neste período nota-se que a umidade relativa do ar apresenta os menores valores, o que está relacionado com o aquecimento das moléculas de vapor d'água suspensas no ar, aumento a intensidade dos movimentos e tornando-as mais instáveis, favorecendo a desagregação do hidrogênio e oxigênio.

A velocidade do vento é dada por gradiente de pressão. Quanto a variação no tempo e espaço, não observa-se um padrão comportamental na área de estudo. Portanto, salienta-se que não foram analisadas variáveis/parâmetros que inferissem na velocidade do vento, como fatores topográficos em micro e média (topo) escala.

Outro elemento essencial para caracterização meteorológica da área de estudo, é a pluviosidade. Durante os dias analisados não houve registros pluviométricos, dessa forma, foram plotados graficamente os dados para o primeiro semestre de 2019, em escala mensal (Figura 11).



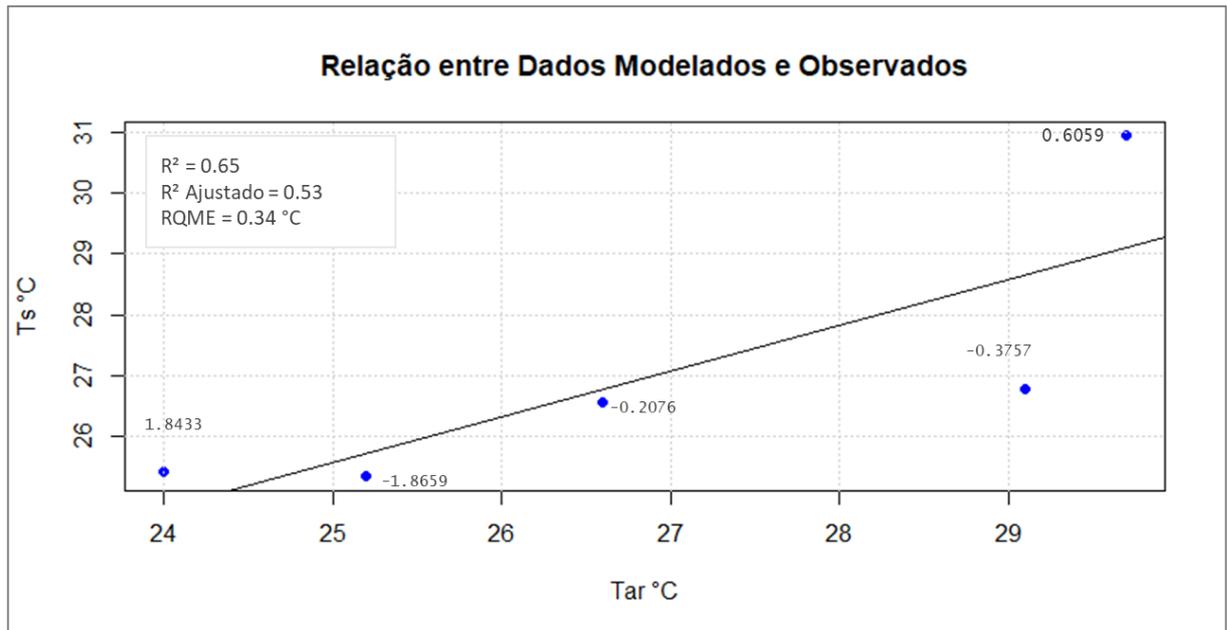
**Figura 11** - Pluviosidade Mensal (primeiro semestre de 2019). **Fonte:** INMET, 2019.

Nota-se que há um aumento de 47,17% na pluviosidade de janeiro a fevereiro, e 38,72% de fevereiro a março. Iniciando um declínio sistemático entre março e abril, representando decréscimo de 72,04% da pluviosidade. Os meses de maio e junho possuíam os menores índices pluviométricos para o semestre, em relação a abril, o decréscimo é de 98,56% e 99,79%, respectivamente. Salieta-se que, mesmo não utilizando de produtos orbitais dos meses de março e abril, expor os índices pluviométricos desses é fundamental, para compreender o montante de água disponível no ambiente analisado para os processos biofísicos.

É oportuno mencionar que os dados explicitados neste sub tópico são substanciais para compreender o comportamento dos fluxos energéticos e a evapotranspiração, sobretudo àquela que compreende ao período diurno, a qual será discutida neste trabalho. Esta representação do período diurno foi essencial para caracterizar os padrões do *input* de radiação, comportamento térmico das parcelas de ar, o umedecimento deste e a variação dos fluxos horizontais de ar (vento).

### 3.2. Comparação entre Dados Modelados e Observados

Para dar sequência a este estudo, é necessário que haja a validação de parâmetros obtidos pelo algoritmo SEBAL (Figura 12). Dentre os produtos gerados por este modelo, a temperatura de superfície ( $T_s$ ) foi escolhida para validação, sobretudo em função da disponibilidade de dados termais da estação meteorológica de Januária/MG para análise estatística.



**Figura 12** – Estatística de Validação entre dados Modelados e Observados. **Fonte:** SEBAL e INMET (2019).

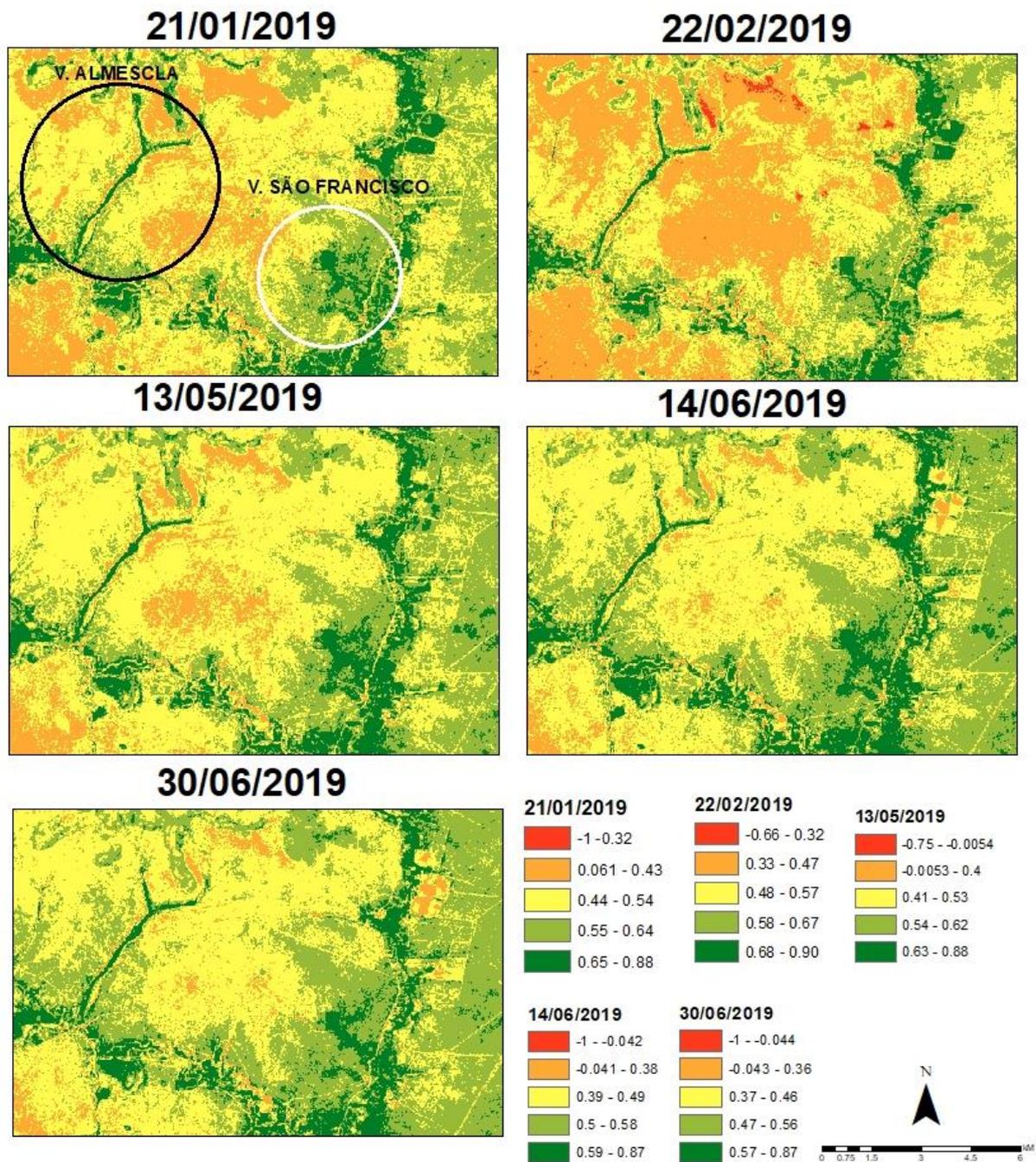
A  $T_s$  é uma variável substancial para obtenção dos componentes do balanço de radiação e energia, sobretudo observando a estrutura matemática do algoritmo. Em análises no município de São Desidério/BA, Filgueiras et al., (2019) observaram a sensibilidade da evapotranspiração à temperatura de superfície. Os autores criaram cenários em que havia o aumento gradual da temperatura de superfície, considerando que seriam erros na estimativa, assim, constataram que o maior erro residual da evapotranspiração foi em relação ao incremento de 10K na carta de  $T_s$ .

Para esse estudo, a comparação entre  $T_s$  e  $T_{ar}$  (Figura 15) apresentou  $R^2$  de 0.65 e  $R^2$  ajustado de 0.53. A Raiz do Erro Médio Quadrático (RQME) foi de 0.34°C, indicando ajuste relativamente bom ao modelo de regressão. Hallank e Filho (2011) mencionam que uma boa precisão do modelo é com valores próximos ou igual a zero.

### **3.3.1. Status Vegetacional através do NDVI dos usos e coberturas do solo nos Ambientes de Entorno das Veredas**

Inicialmente, serão apresentados os padrões de distribuição desses índices de vegetação para toda área de estudo, e, na sequência serão abordados os padrões para as Veredas, os usos e cobertura da terra identificados no entorno das Veredas escolhidas para análise. Na Figura 13 estão representados o NDVI para os 5 períodos analisados.

É preciso entender a dinâmica espacial, pois a análise da distribuição dos valores de NDVI é essencial para o desdobramento do balanço de radiação e energia, haja vista que esses parâmetros compreendem o status da vegetação, bem como das demais configurações de cobertura da terra (FERREIRA et al., 2006).



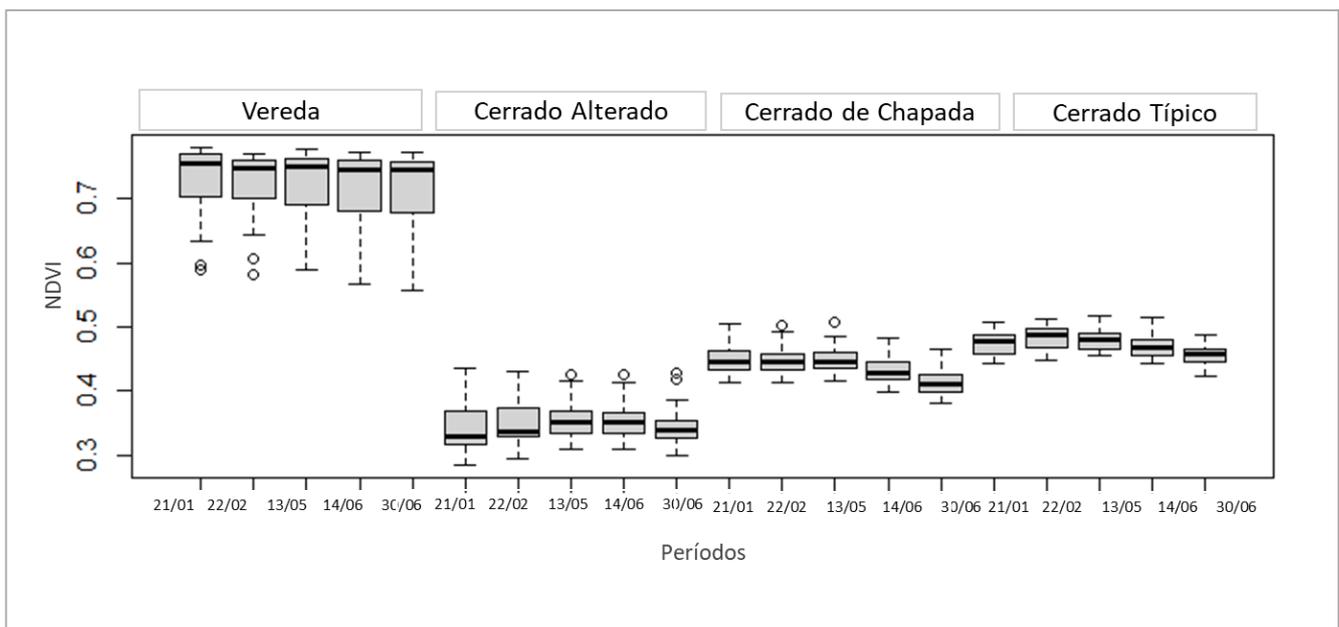
**Figura 13** - Distribuição Espacial do NDVI.

Observou-se padrões de distribuição do NDVI em todos os períodos, sobretudo concernente aos maiores valores, os quais estão delineados no formato de drenagens, sendo representados por matas ciliares e Veredas. Nas porções leste, sudeste e nordeste do recorte, observa-se uma faixa latitudinal com os maiores valores de NDVI, sendo destinados às matas ciliares. Nota-se que no entorno da Vereda Almescla, há predomínio dos valores entre -0,0053 e 0,57 para todos os períodos. Para o entorno da Vereda São Francisco, os ranges variaram entre

0,47 e 0,90, obtendo os maiores valores de NDVI. Quanto à distribuição sazonal do NDVI, observa-se que há decréscimo do período úmido para o seco, mostrando relação direta entre índices de vegetação e elementos externos, como a pluviosidade.

Do ponto de vista amostral, o NDVI representando o Status Vegetacional para as amostras, será a primeira caracterização dos dados amostrados, antes de iniciar a discussão do balanço de energia. Nos estratos arbóreos-arbustivos da Vereda Almescla, notou-se que a variância dos valores foi próxima a 0, mostrando homogeneidade do NDVI para esta fitofisionomia, isso sendo corroborado com os valores de desvio padrão, sendo: 0,5 (para 21/01, 13/05 e 14/06), 0,4 (22/02) e 0,6 (30/06) (Figura 14).

Ainda é possível observar essa homogeneidade analisando a distribuição dos valores por período, em que 21/01 os valores concentraram entre 0,70 e 0,77. Em 22/02 a concentração se deu entre 0,70 e 0,76, já em 13/05, foi entre 0,69 e 0,76. E entre 0,68 e 0,76 e em 14/06 e 30/06.



**Figura 14** - Distribuição Estatística do NDVI por meio de Boxplot para 21/01, 22/02, 13/05, 14/06 e 30/06 de 2019, para Vereda, Cerrado Alterado, Cerrado de Chapada e Cerrado Típico, respectivamente para o Ambiente da Vereda Almescla.

Analisando a distribuição dos valores em áreas de Cerrado sob Influência de Sedimentos, em 21/01 observou que houve concentração de valores entre 0,32 e 0,37, em 22/02 e 13/05 concentrou-se entre 0,33 e 0,37 (ambos períodos) e em 30/06 a concentração se deu entre 0,33 e 0,36. No Cerrado em Chapada valores de NDVI concentram-se entre 0,43 e 0,46. Em 14/06 a distribuição se concentrou entre 0,42 e 0,44, e 0,40 a 0,43 para 30/06.

No estrato arbóreo-arbustivo da Vereda, os valores mantiveram-se elevados em todos os períodos analisados, isso estando relacionado com a disponibilidade hídrica propiciada pela ascensão da superfície freática. Os solos hidromórficos nas Veredas favorecem a relação intrínseca entre a estrutura vegetacional e os padrões de NDVI. Considerando os maiores valores para esta classe dentro dos períodos analisados, em que manteve-se comportamento padrão, menciona-se que esses ambientes são essenciais para a absorção de carbono atmosférico, pois na estimativa deste, insere-se o NDVI, o qual corresponderia pelo vigor da vegetação (ALBANO et al., 2020).

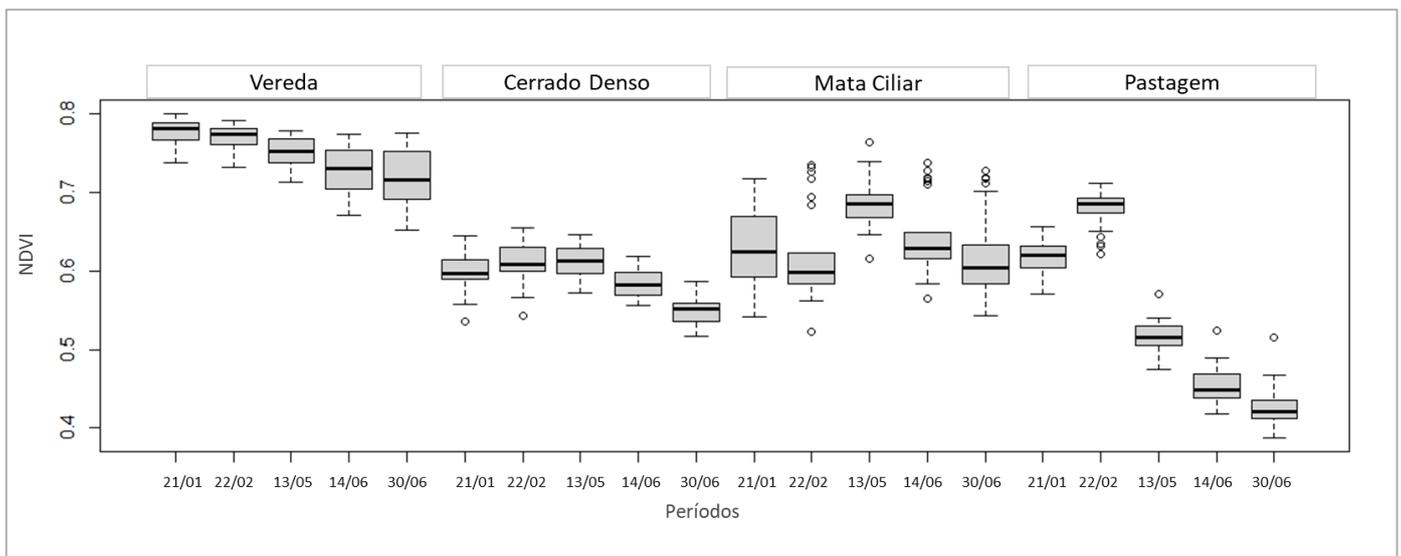
Para as áreas de Cerrado Alterado, observou-se comportamento reverso ao dos estratos arbóreo-arbustivo, principalmente devido à diferença dos ambientes, enquanto um (estrato arbóreo-arbustivo) possui abundância de água, o outro (cerrado sob influência de sedimentos) está inserido em aspectos com escassez hídrica. O Cerrado dessa área, possui baixa densidade, apresentando configuração rarefeita. Acredita-se que este status rarefeito seja pela influência dos sedimentos (areia), pois possui uma composição química pobre em bases trocáveis e textura arenosa, sobretudo inferindo que possui como material de origem os arenitos do Grupo Urucuia.

Em análise da APA do Rio Pandeiros, Oliveira (2013) analisou a relação solo-vegetação em áreas desenvolvidas sob arenitos do Grupo Urucuia. Observou que em ambientes com Neossolos Quartzarênico, concentrou-se presença de Cerrado Ralo, com baixas densidade relativa e área basal. Esses aspectos, sobretudo a matriz de sedimentos, influenciaram sistematicamente nos valores de NDVI, haja vista que o comportamento espectral é semelhante à áreas de solo exposto, com elevada reflectância no infravermelho próximo e no vermelho visível, dessa forma, Epiphany et al., (1996) constataram que menores valores de NDVI tendem a ocorrer em solos mais claros (areia). Este comportamento parte do princípio da lei de corpo negro de Planck, pois, os aspectos esbranquiçados da matriz dos sedimentos, correspondem à reflexão elevada. É importante destacar que essas áreas foram fortemente influenciadas por ações antrópicas, tendo sua composição alterada (MAGALHÃES, 2020).

As amostras de Cerrado em áreas de Chapada, apresentaram baixos valores de NDVI em função de sua baixa densidade vegetacional, com status de Cerrado Ralo. Esses ambientes são conhecidos como superfícies tabulares reelaboradas, com depósitos de sedimentos arenosos, e essas formações possuem ocorrência em altitudes entre 550 e 850 metros, sob estruturas geológicas do Cretáceo (arenitos da formação Urucuia), em que a pedologia é marcada por Latossolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Quartzarênicos, (JACOMINE, 1979; OLIVEIRA, 2013), acredita-se que tais condições propiciaram o desenvolvimento de Cerrado Ralo, o que reflete sistematicamente nos padrões de radiância espectral, conforme observado.

No Cerrado Típico, observou-se valores de NDVI maiores no verão e menores no inverno, representando relação com incidência de radiação e pluviosidade, e consequentemente padrões de biomassa, que se mantém elevados no verão e decrescem no inverno (BELLÓN et al., 2020). Observou-se que em relação aos demais tipo de Cerrado analisados, o típico apresentou maior variabilidade na distribuição dos valores e apresentou padrões lineares estritamente com a sazonalidade climática.

Em sequência, foram analisadas 3 (três) fitofisionomias e 1 (um) uso da terra para o ambiente da Vereda São Francisco: Vereda (estrato Arbóreo-Arbustivo), Mata Ciliar e Cerrado Denso e Pastagens (Figura 15). Para a Vereda, em 21/01, a distribuição dos valores concentram-se entre 0,76 e 0,79, e em 22/02 entre 0,76 e 0,78. Já para 13/05 a concentração dos valores foi entre 0,74 e 0,77, e em 14/06 concentrou-se entre 0,70 e 0,75, e 0,69 e 0,75 para 30/06. Para o Cerrado Denso a distribuição dos valores se deu entre 0,59 e 0,61 (21/01), e em 22/02 e 13/05 concentrou entre 0,60 e 0,63. Em 14/06 os valores concentraram entre 0,57 e 0,60, já para 30/06 entre 0,53 e 0,56. Para a Mata Ciliar, a distribuição do NDVI em 21/01 concentrou-se entre 0,59 e 0,67, em 22/02 entre 0,58 e 0,63. E para 13/05 a concentração se deu entre 0,67 e 0,70; e 0,61 e 0,65 para 14/06, já para 30/06 foi entre 0,58 e 0,63. Para o único uso antrópico selecionado, pastagem, constatou-se distribuição dos valores em 21/01 concentrou-se entre 0,60 e 0,63, já em 22/02 concentrou-se entre 0,67 e 0,69, e 0,51 e 0,58 para 13/05. Para 14/06 os valores concentraram entre 0,44 e 0,47, e entre 0,41 e 0,43 para 30/06.



**Figura 15** - Distribuição Estatística do NDVI por meio de Boxplot para 21/01, 22/02, 13/05, 14/06 e 30/06 de 2019, para Vereda, Cerrado Denso, Mata Ciliar e Pastagem, respectivamente para o Ambiente da Vereda São Francisco.

Para o Ambiente da Vereda São Francisco, o estrato arbóreo-arbustivo observou-se que seguiu o mesmo padrão do Ambiente da Vereda Almescla, com maiores valores de NDVI em relação às demais classes, entretanto, foram relativamente superiores, e isso já era esperado pelo status de conservação da mesma.

As amostras de Cerrado Denso, apresentaram valores elevados no verão e decrescem no inverno, isso seguindo, sobretudo a dinâmica da sazonalidade climática. Do período mais chuvoso (22/02) para o mais seco (30/06) observa-se que não há diferenças exacerbadas em relação ao NDVI, apenas 8,09%. Este fato estar relacionado com o sistema radicular, que em períodos mais secos, proporcionam a retirada de água em camadas mais profundas do solo (ARANTES; FERREIRA; COE, 2016b) o que mantém a atividade fotossintética.

Oliveira (2013) em estudo empírico na APA-RP, e em ambientes de Cerrado Denso, observou com estudo fitossociológico, que essa fitofisionomia apresenta elevada área basal, altura e densidade lenhosa. Ainda no estudo supracitado, o autor encontrou camada espessa de serapilheira, o que tende a aumentar a matéria orgânica, refletindo na qualidade do solo e na vegetação, conseqüentemente os padrões de NDVI.

Para as áreas de Matas Ciliares os valores mantiveram-se elevados em todos os períodos, seguindo a dinâmica meteorológica, havendo apenas um comportamento atípico para 22/02. Esperava-se de fato o padrão homogêneo para essas fitofisionomias, sobretudo por serem Florestas e apresentarem dossel contínuo (CIRELLI; PENTEADO-DIAS, 2003). Análises fitossociológicas demonstraram que ambientes de matas ciliares possuem elevada densidade de indivíduos (BATTILANI; SCREMIN-DIAS; SOUZA, 2005) e isso pode inferir nos padrões de NDVI, sobretudo mantendo a homogeneidade, conforme observado. A proximidade com os cursos d'água, a baixa declividade e altimetria, favorecem a manutenção de retirada de água pelo sistema radicular, o que influencia sistematicamente nos valores de NDVI. Dessa forma, salienta-se que, a presença das matas ciliares demonstra o status conservado que está a Vereda São Francisco.

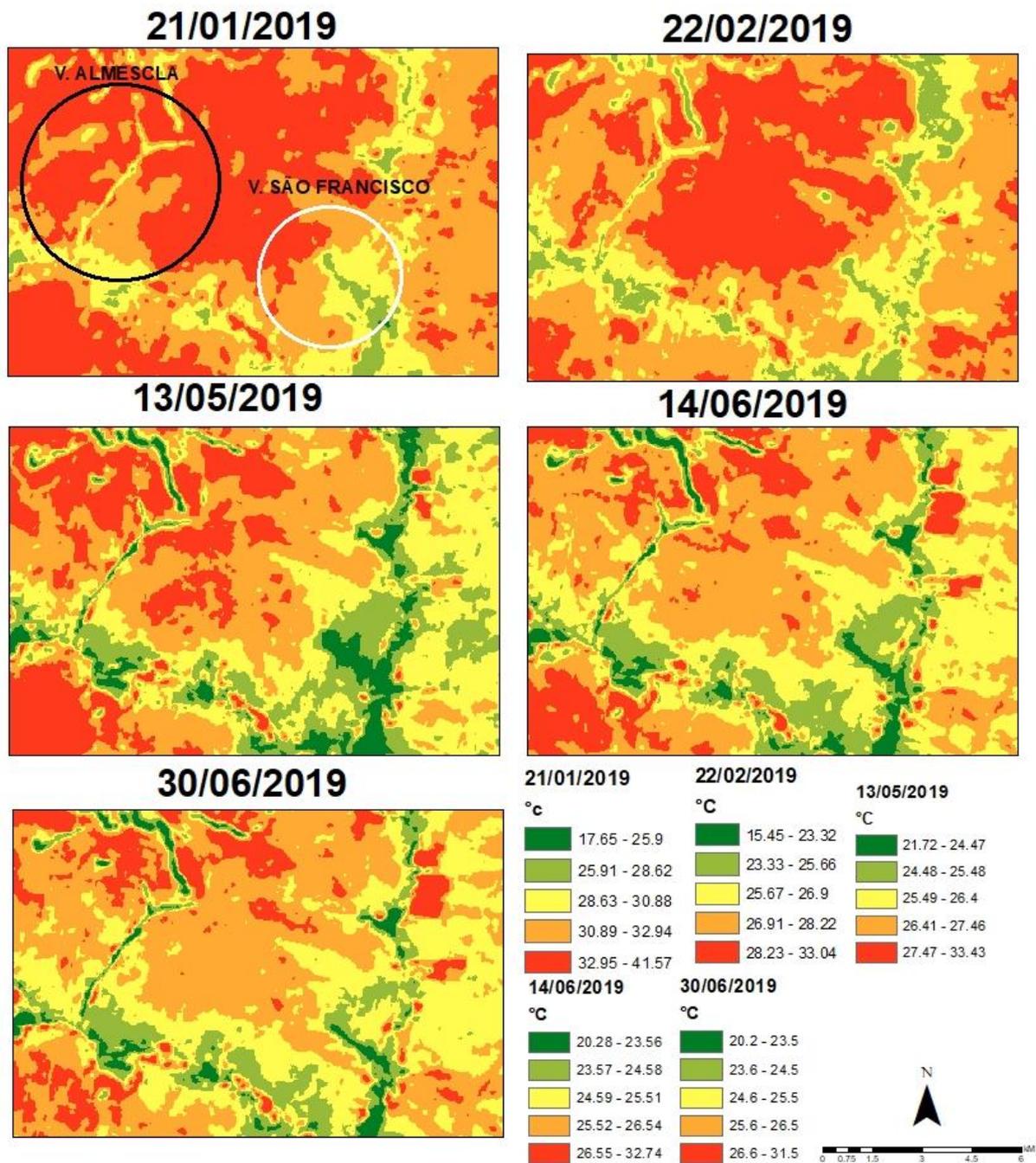
Quanto às amostras de pastagens, observou-se o comportamento mais variado entre as classes estudadas, não obtendo padrão nos valores de NDVI. O comportamento espectral para o verão mostrou-se elevado, isso em função do incremento sistemático de biomassa (VELOSO et al., 2020). Como o sistema radicular dessa classe é relativamente curto, o contato com a zona aerada é rápido, o que favorece a retirada de água do solo para seus processos metabólicos. É oportuno mencionar que a localização geográfica das amostras auxiliam a explicitação desses elevados valores de NDVI, estando nas margens de corpos hídricos, com proximidade a ambientes férteis. Já para o período seco, observou-se decréscimos acentuados, o que está

intimamente relacionado também ao sistema radicular, pois sendo curto, não adentra camadas profundas no solo. As pastagens por essa característica de sistemas radiculares próximos à superfície, tornam-se suscetíveis ao déficit hídrico (SANTOS; FERREIRA, 2017), sobretudo no período de escassez hídrica.

Diante da exposição desses dados, bem como a explicitação, salienta-se que apontaram de maneira ímpar o estado vegetacional dos ambientes das Veredas analisadas (Almescla e São Francisco), mostrando que a Almescla possui um ambiente com menores valores de NDVI, e, conseqüentemente, menor cobertura vegetal, com entorno mais alterado em relação ao ambiente da Vereda São Francisco com maior cobertura vegetal. Esses parâmetros foram essenciais para compreender o comportamento energético de cada ambiente, dessa forma, no próximo sub tópico serão discutidos os fluxos energéticos para as amostras dos ambientes selecionados, a fim de observar os padrões.

### **3.3.3. Propriedades Termiais dos Usos e Coberturas do Solo nos Ambientes de Entorno das Veredas**

Antes de adentrar nas análises termiais por amostras, é importante compreender a dinâmica da distribuição espacial da temperatura de superfície para todos períodos estudados (Figura 16). É nítido que nos períodos representados pelo verão (nos quais há maior intensidade na incidência de radiação) a temperatura da Vereda com entorno alterado apresentou-se maior em relação aos demais períodos e em comparação à Vereda São Francisco. O entorno da Vereda Almescla apresentou valores na ordem de 28,23 a 41,57°C em 21/01 e 22/02. Em contrapartida, especialmente, nota-se que os valores de  $T_s$  para o entorno da Vereda São Francisco são baixos em todos os períodos analisados. Do ponto de vista da sazonalidade climática, os valores de  $T_s$  decrescem sistematicamente de janeiro a fevereiro.



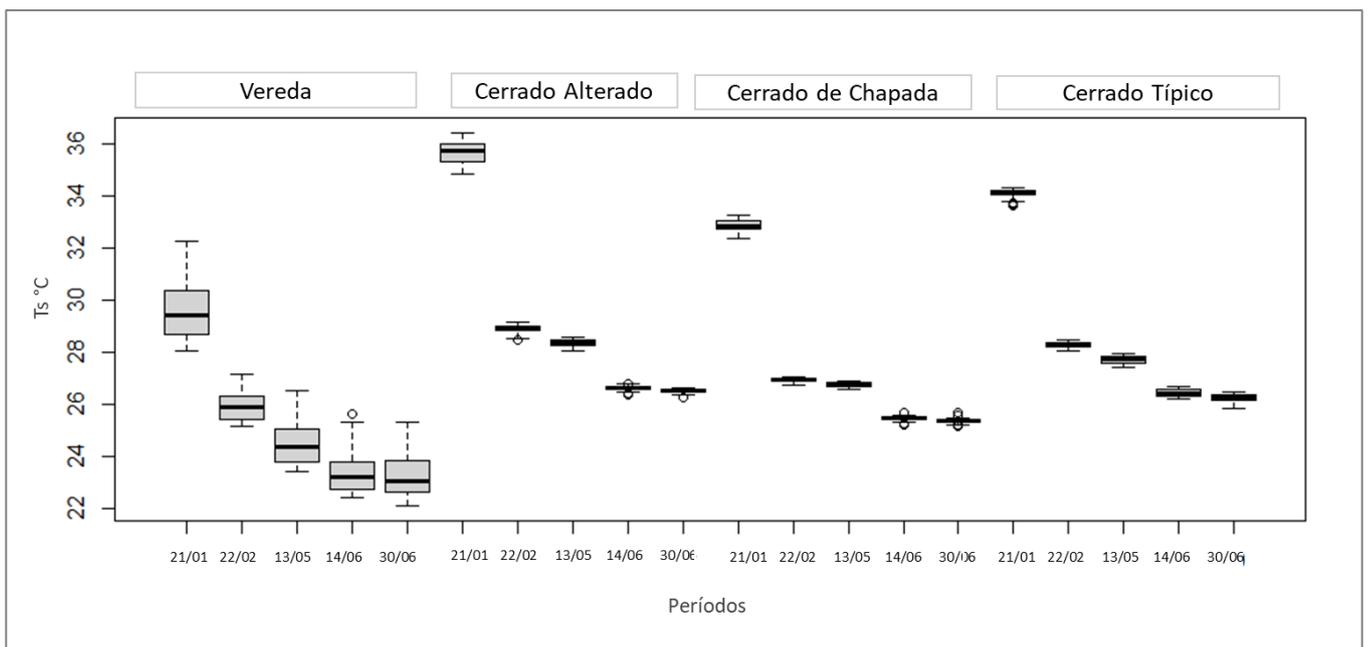
**Figura 16** - Distribuição Espacial da TS.

Tendo visto as variações da Ts espacialmente, serão discutidos os padrões das propriedades termais para as amostras dos ambientes, haja vista que esta variável é sensível aos diferentes status vegetacionais, bem como aos observados no tópico anterior. Essa análise das propriedades termais dará noção inicial do comportamento dos fluxos de energia, pois, é variável de entrada no cálculo, de tal forma, assim como o NDVI, sua discussão será tratada como caracterização das amostras, entretanto, neste caso, das propriedades termais.

Dessa forma, para a os estratos arbóreo e arbustivo da Vereda Almescla, observou-se concentração da distribuição da Ts em 21/01 entre 28,74 °C e 30,32 °C, e em 22/02, entre 25,42 e 25,92 °C (mostrando homogeneidade nos valores). Para 13/05 a distribuição se deu entre 23,82 e 25,04 °C, e para 14/06 concentrou-se entre 22,74 e 23,77 °C, e para o último período analisado (30/06) de 22,61 a 23,81 °C (Figura 17).

Para as amostras de Cerrado Alterado, os valores, em 21/01 a concentraram entre 35,36 °C e 36 °C, observando baixa variabilidade dos valores. Em 22/02, a concentração foi de 28,29 e 28,81 °C. Já em 13/05 os valores concentraram-se entre 28,24 e 28,59°C, e de 26,56°C a 26,65 °C em 14/06 e em 30/06 concentraram entre 26,46 e 26,62 °C.

Para as áreas de Cerrado em Chapa, em 21/01 os valores concentraram entre 32,71°C e 33,05°C, em 22/02, entre 26,87°C e 26,98°C (apresentando homogeneidade térmica). Para 13/05 os valores concentraram entre 25,45 e 25,49°C, e entre 25,44 e 25,49°C para 14/06, já em 30/06, mostrou-se distribuídos entre 25,36°C e 25,40°C.



**Figura 17** - Distribuição Estatística do Ts por meio de Boxplot para 21/01, 22/02, 13/05, 14/06 e 30/06 de 2019, para Vereda, Cerrado Alterado, Cerrado de Chapada e Cerrado Típico, respectivamente para o Ambiente da Vereda Almescla.

Os menores valores de Ts foram observados para os estratos arbóreo e arbustivo, o que está relacionado com as características físicas dessa classe, principalmente os padrões vegetacionais (biomassa). A presença de água nesses ambientes, também é fator essencial para favorecer esses padrões termais, visto que tende a decrescer o campo térmico, pois são corpos com baixa admitância térmica, possuindo maior inércia, ou seja, precisa de mais tempo para

e elevar seu campo térmico com o incremento de energia. Outrora, menciona-se ainda os aspectos pedológicos do ambiente, pois são solos que favorecem o umedecimento, haja vista que encontram-se encharcados com água. Ainda menciona-se a presença de matéria orgânica, que possui a capacidade de absorver o fluxo radiante incidente nesses ambientes e convertê-lo para outras finalidades. Salienta-se o fato de serem fitofisionomias savânicas (as Veredas), o dossel não é contínuo, permite a circulação de ar dentro desses ambientes, funcionando como difusor turbulento de calor.

Alguns estudos dispoñdo de SR aplicado à análise térmica em ambientes de Veredas foram realizados em áreas de Cerrado no Norte de Minas Gerais, dentre esses, cita-se Silva, Leite e De Magalhães filho (2018) no município de Buritizeiro, em que constataram valores de  $T_s$  na ordem de  $18,8^{\circ}\text{C}$  a  $19,3^{\circ}\text{C}$  para Veredas intactas em 1985 e de  $26,7^{\circ}\text{C}$  a  $35,2^{\circ}\text{C}$  nas mesmas Veredas em 2016 com alguma prática de uso antrópico inserido. Leite et al., (2018b) analisaram o campo térmico na APA do Rio Pandeiros, e especificaram para ambientes de Veredas que as médias termais foram as menores encontradas no estudo, sendo  $23,75^{\circ}\text{C}$  (no período seco) e  $21,59^{\circ}\text{C}$  em período úmido.

Para as áreas de Cerrado Alterado, observou-se os maiores valores de  $T_s$ . Essa classe foi a que apresentou menor vigor vegetativo ao analisar os padrões de NDVI, isso norteia a absorção de radiação incidente para o aquecimento das moléculas de ar próximo à superfície, pois não há conjunto de biomassa que favoreceria a absorção de energia com finalidade metabólica e biofísica. Menciona-se que este comportamento assemelha-se à áreas com solo em exposição.

Assim, Lopes et al., (2010), observaram para a Bacia do Rio Brígida/SP, que as maiores temperaturas foram em áreas com solo exposto, inferindo aspectos pedológicos, sobretudo considerando que o solo exposto era um neossolo litólico. Ainda constatou-se status vegetacional ralo (antigos pontos de desmatamento e início de degradação do solo), o que lembra o aspecto da área analisada neste estudo.

Para o Cerrado Típico, os valores assemelham aos encontrados para aquele observado nas amostras na Chapada. Ainda é preciso analisar esses comportamentos em função do status vegetacional elencado pela análise do NDVI, pois para essa fitofisionomia observou-se valores relativamente baixos e possuiu maior variabilidade. Assim como nas demais amostras, observou-se relação intrínseca com a sazonalidade climática, haja vista que os valores de temperatura de superfície decresceram linearmente de 21/01 a 30/06, pois no verão os raios solares estão perpendiculares à superfície, indicando decréscimo no tempo ótico e maior

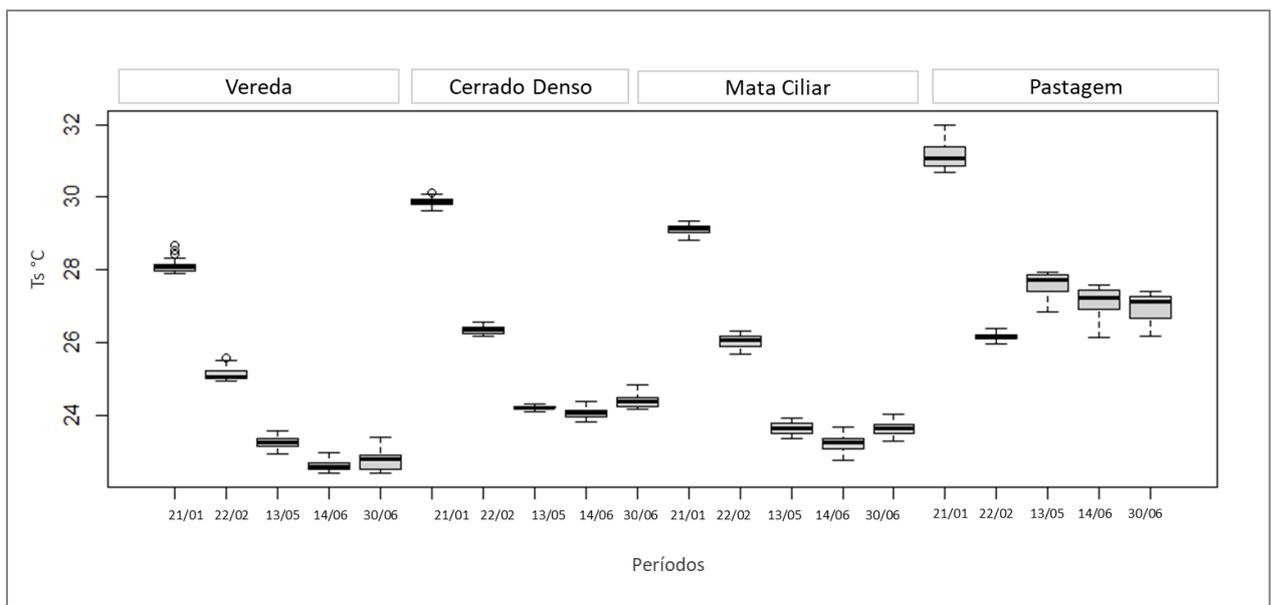
intensidade de incidência da radiação, e maior facilidade de absorção térmica dos elementos na superfície, elevando o campo térmico sistematicamente.

Em relação às amostras do Ambiente São Francisco, para o estrato arbóreo e arbustivo, em 21/01 a concentração dos valores de Ts se deu entre 28,12 °C e 28,15°C, em 22/02 concentrou-se 25,14°C e 25,22°C. No período de 13/05 a concentração da Ts foi entre 23,16°C e 23,35°C, e de 22,52°C a 22,63°C para 14/06. Em 30/06 a distribuição dos valores se deu entre 22,43 e 22,76°C (Figura 18).

Em ambientes de Cerrado Denso, no período de 21/01 os valores concentraram entre 29,80 e 29,93°C. Já em 22/02, concentrou-se entre 26,24 e 26,43°C, para 13/05, essa concentração esteve entre 24,19 e 24,30°C. Em 14/06 entre 23,95 e 24,16°C e em 30/06 concentrou-se de 24,25 e 24,49°C.

Em Matas Ciliares, para 21/01, a concentração da Ts se deu entre 29,03 e 29,12°C, e de 25,90 e 26,03°C para 22/02. Em 13/05, os valores de concentração foram de 23,49 e 23,65°C, já para 14/06 concentraram entre 23,22°C e 23,36°C, e para 30/06 foi de 23,51 a 23,76°C.

Para as áreas de Pastagens, em 21/01, a concentração dos valores foi entre 30,88 e 31,38°C. Para 22/02 o valores observou-se concentração entre 26,17°C e 26,23°C, e entre 27,42 e 27,85 °C em 13/05. No período de 14/06, esta concentração foi entre 26,92°C e 27,46°C, já em 30/06, constatou-se entre 26,68°C e 27,28°C.



**Figura 18** - Distribuição Estatística do Ts por meio de Boxplot para 21/01, 22/02, 13/05, 14/06 e 30/06 de 2019, para Vereda, Cerrado Denso, Mata Ciliar e Pastagem, respectivamente para o Ambiente da Vereda São Francisco.

Para os estratos arbóreo e arbustivo no ambiente da Vereda São Francisco, observou-se o mesmo padrão em relação ao ambiente Almescla, sendo as menores médias termais entre as classes analisadas. Entretanto, é preciso frisar que as médias termais da São Francisco foi relativamente inferior à Almescla em todos os períodos, sendo 4,96% em 21/01, 3% em 22/02, e 5,05%, 3,16%, 2,05% em 13/05, 14/06 e 30/06, respectivamente.

Para o Cerrado Denso, as médias termais seguiram a dinâmica meteorológica, com maiores valores no verão e menores no inverno. O status vegetacional observado na análise do NDVI favoreceu uma homogeneidade nos valores de temperatura de superfície, principalmente em função aos níveis de biomassa dessa fitofisionomia. Considerando o dossel mais fechado para este Cerrado Denso, menciona-se que a radiação incidente tende a ser absorvida com maior intensidade, e ser utilizada para os processos biofísicos necessários desta fitofisionomia.

Notou-se que as médias do Cerradão foram superiores aos padrões observados para os estratos arbóreo e arbustivo da Vereda, isso pode ter relação com as características do ambiente, pois, no Cerrado Denso, não se tem as mesmas condições hídricas que em Veredas, condições essas ditadas pela ascensão da superfície freática.

As matas ciliares apresentaram baixos valores de temperatura de superfície, e homogeneidade na distribuição térmica conforme observado nas amostras. Os baixos valores para essa fitofisionomia se dá devido ao seu aspecto florestal, com dossel contínuo (favorecendo à interceptação efetiva da radiação solar incidente), bem como a sua disposição no ambiente, sobretudo considerando o fato de localizarem próximas aos cursos hídricos, o que mantém durante longos períodos no ano os padrões de biomassa.

Menciona-se ainda que não observou-se matriz de solo durante a passagem do sensor, o que infere nos valores termais, pois, tendo maior exposição da estrutura vegetal em vigor, o sensor tende a detectar menores valores de radiância no espectro do emissivo. Esses valores de temperatura corroboram com o status vegetacional analisado, em que as matas apresentaram elevados valores de NDVI, o que decresce sistematicamente o campo térmico, comportamento observado em outros estudos (FATHIZAD et al., 2017).

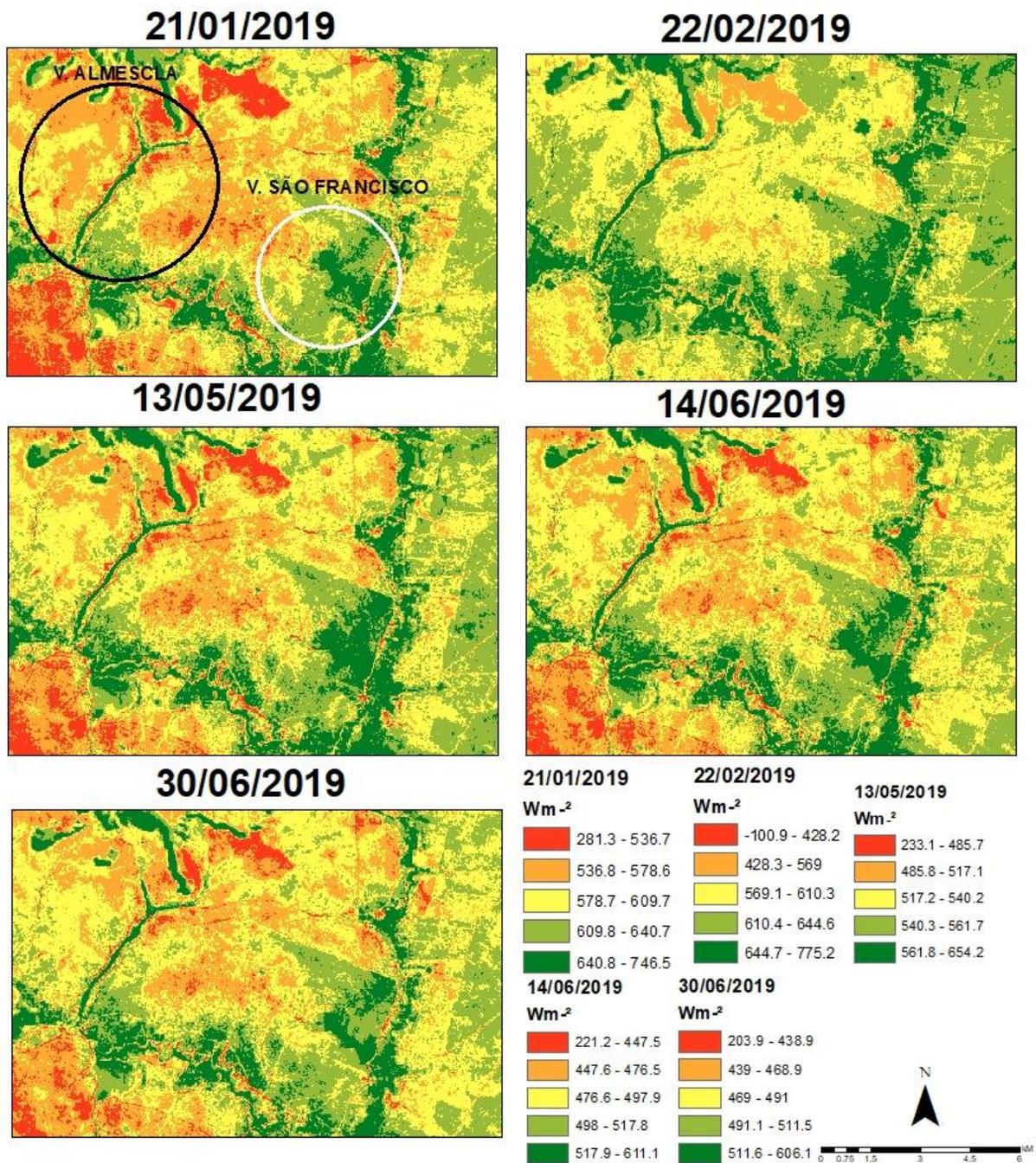
As pastagens obtiveram os maiores valores de  $T_s$ , tanto no verão quanto no inverno. Isso estar relacionado ao status vegetacional apresentado pelos padrões de NDVI, pois são ambientes com baixa densidade vegetal, mostrando que a radiação incidente possui intensidade mais elevada o campo térmico.

É preciso salientar que há relação intrínseca das médias termais com a sazonalidade climática, sobretudo observando que a  $T_s$  decresce sistematicamente do verão para o inverno. Isso fica mais evidente ao observar que mesmo no verão havendo maiores valores de NDVI, as

flutuações térmicas seguiram padrão de elevação. Dessa forma, analisar a disponibilidade energética é essencial, principalmente para compreender os padrões de partição em G, H e LE.

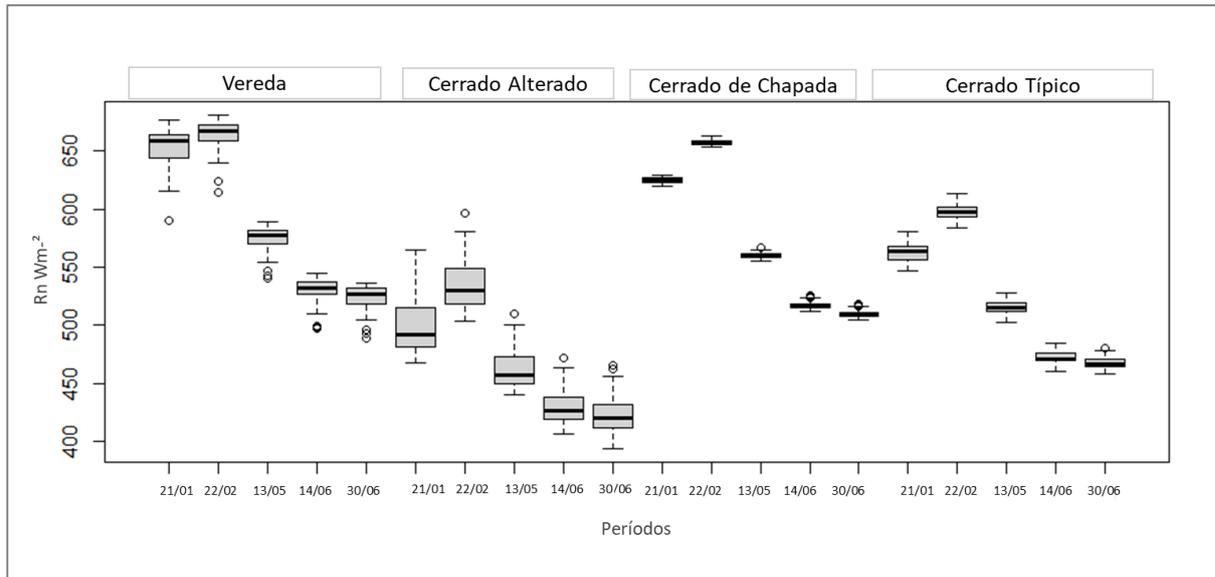
#### **3.3.4. Disponibilidade Energética (Rn) para as Amostras de Usos e Coberturas do Solo nos Ambientes de Entorno das Veredas**

A distribuição sazonal do Rn segue um padrão de comportamento (Figura 19), com maiores valores para os períodos úmidos, declinando com a chegada dos períodos secos, tendo relação intrínseca com a incidência de radiação e pluviosidade da região. Em todos períodos os maiores valores de Rn foram dispostos para as áreas da Veredas, sendo possível observar o padrão retilíneo formado nesses ambientes. Para o entorno da Vereda almescla, nota-se os menores valores, já o entorno da São Francisco, há predominância dos ranges com maiores valores de Rn.



**Figura 19** - Distribuição Espacial do Rn.

Do ponto de vista amostral, para a Vereda almescla, a concentração dos valores se deu entre 644,57 e 664,57  $Wm^{-2}$  para 21/01, e entre 659,65 e 672,86  $Wm^{-2}$  para 22/02. Em 13/05, essa concentração variou entre 570,19 e 581,27  $m^{-2}$ . Para 14/06 e 30/06 a concentração foi de 529,52 a 536,92  $Wm^{-2}$  e 519,27 a 532,04  $Wm^{-2}$ , respectivamente.



**Figura 20** - Distribuição Estatística do Rn ( $\text{Wm}^{-2}$ ) por meio de Boxplot para 21/01, 22/02, 13/05, 14/06 e 30/06 de 2019, para Vereda, Cerrado Alterado, Cerrado de Chapada e Cerrado Típico, respectivamente para o Ambiente da Vereda Almescla.

Para as áreas de Cerrado Alterado, em 21/01, a concentração dos valores foi entre 481,15 e 514,45  $\text{Wm}^{-2}$ , em 22/02 se deu entre 518,34 e 549,06  $\text{Wm}^{-2}$ . Para 13/05 concentram-se entre 449,95 e 472,43  $\text{Wm}^{-2}$ . Em 14/06 os valores concentram entre 418,66  $\text{Wm}^{-2}$  e 438  $\text{Wm}^{-2}$ , já para 30/06 observou-se concentração entre 411,79 e 431,13  $\text{Wm}^{-2}$ .

Para Cerrado em Chapada, a distribuição se deu entre 623,42 e 624,91  $\text{Wm}^{-2}$ , para 21/01. Em 22/02, essa concentração foi de 655,86 e 659,06  $\text{Wm}^{-2}$ . Para 13/05, os valores concentraram entre 558,88 e 561,64  $\text{Wm}^{-2}$ . Para 14/06, houve concentração entre 515,25 e 518,51  $\text{Wm}^{-2}$ , já para 30/06, foi entre 508,15 e 511,27  $\text{Wm}^{-2}$ .

Nas amostras de Cerrado típico, em 21/01, a concentração dos valores foi entre 557,02 e 567,58  $\text{Wm}^{-2}$ , e 593,49 a 601,66  $\text{Wm}^{-2}$  para 22/02. Em 13/05, houve concentração entre 511,85 e 519,25  $\text{Wm}^{-2}$ . Em 14/06, o Rn concentrou-se entre 469,51 e 476,05  $\text{Wm}^{-2}$ . Para 30/06, essa concentração se deu entre 466,65 e 470,71  $\text{Wm}^{-2}$ .

Para os ambientes com estratos arbóreos e arbustivos na Vereda, os valores também são elevados. Este fato mantém relação intrínseca com o status vegetacional (maiores valores entre as amostras para este ambiente de Vereda) e propriedades térmicas (menores valores), além dos aspectos físicos do ambiente, bem como pedologia e padrões hídricos.

Como esses ambientes possuem disponibilidade hídrica em todos os períodos, seguiu-se a tendência da manutenção de radiação líquida para os processos biofísicos. Leite et al., (2018a) observaram para essa área de estudo (APA-RP) que em ambientes de Veredas, o saldo de radiação tende a ser elevado, sobretudo em função da disponibilidade hídrica. É oportuno

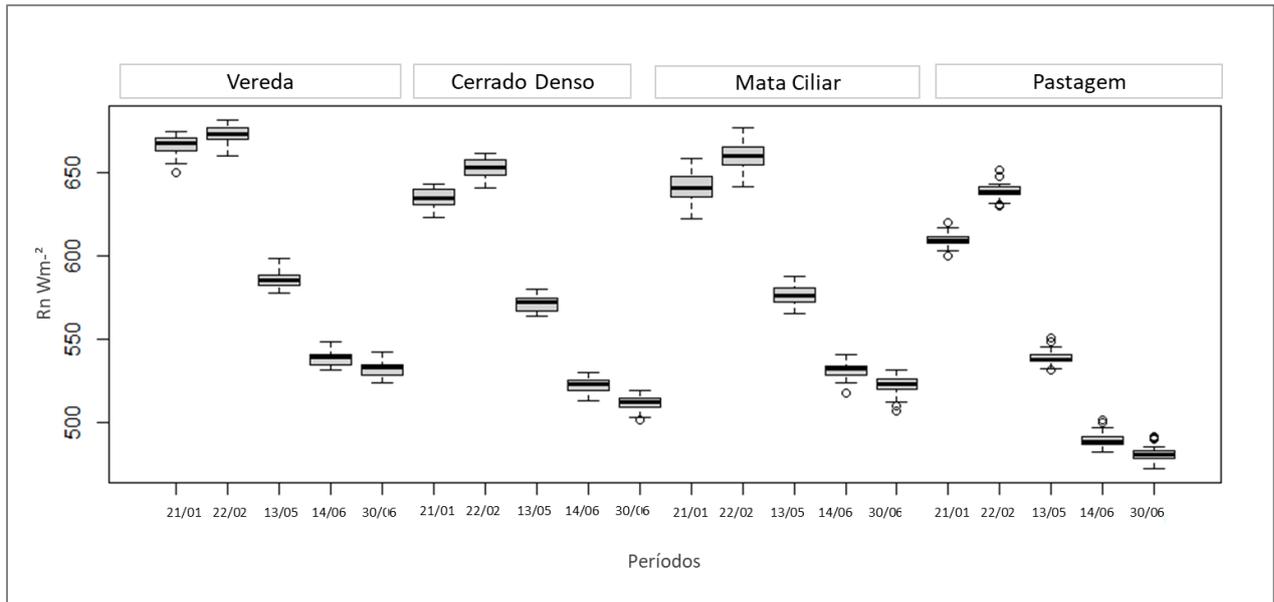
mencionar que solos nesses ambientes são escuros (devido a presença de matéria orgânica), e em solos com esses padrões de cor, a tendência é que haja menor reflexão de radiação, o que favorece sistematicamente a disponibilidade energética no sistema, pois há menor perda para o espaço sideral.

Para áreas de Cerrado em Chapada, notou-se valores relativamente inferiores às Veredas, o que já era esperado, sobretudo pelas diferenças nas variações físicas em que estão dispostas. Na Chapada, o Cerrado com aspectos mais ralos, apresentou baixo status vegetacional e propriedades térmicas relativamente elevadas (ao comparar com as Veredas). Isso tendeu a influenciar valores médios de  $R_n$  menores em relação à Vereda, pois o campo térmico relativamente elevado, tende a manter flutuações mais intensas de ondas longas. Ainda pode-se mencionar que o status ralo dessa fitofisionomia impulsiona maiores outputs de radiação por reflexão, haja vista que há maior exposição da matriz do solo.

Em Cerrado Alterado, observou-se que o  $R_n$  foi relativamente baixo se comparar com as demais amostras supracitadas. Essa diferença está relacionada com o status vegetacional e propriedades térmicas nessas áreas, pois mantiveram menores valores de NDVI e elevada temperatura de superfície. Como foi explicitado, os indivíduos dessa classe apresentam-se espaçados, com exposição da matriz de solo nu, havendo maiores perdas de energia por reflexão.

O Cerrado alterado, apresentou menores valores de  $R_n$ , indicando que o baixo status vegetacional e elevadas médias térmicas favoreceram a perda de energia. Menciona-se que nesses ambientes, com baixos níveis de vegetação, a radiação incidente é refletiva com maior intensidade, fato que corrobora os menores valores de NDVI para essa classe.

Para as amostras do Ambiente São Francisco (Figura 21), notou-se mesmo comportamento observado no Ambiente Almescla, em função da sazonalidade climática, com maiores valores no verão e menores no inverno, tendo acentuado aclave em fevereiro, devido ao input pluviométrico.



**Figura 21** - Distribuição Estatística do Rn ( $Wm^{-2}$ ) por meio de Boxplot para 21/01, 22/02, 13/05, 14/06 e 30/06 de 2019, para Vereda, Cerrado Denso, Mata Ciliar e Pastagem, respectivamente para o Ambiente da Vereda São Francisco.

Os estratos arbóreo e arbustivo do ambiente São Francisco, apresentaram os maiores valores de energia disponível (Rn), no entanto, observa-se que os valores para a Vereda considerada conservada, mantém-se mais elevados do que o ambiente alterado, isso em todos os períodos, sendo 1,94% (21/01), 1,24% (22/02), 1,90% (13/05), 1,72% (14/06) e 1,65% (30/06). De maneira geral, analisando a Figura 19, não observa-se discrepâncias nas distribuições, pois os boxplots apresentam-se com pequenos espaçamentos.

Para as amostras de Cerrado Denso, os valores de Rn mantém-se elevados (somente abaixo do que em Veredas e matas ciliares), isso pode ser associado com o status vegetacional, que apresentou valores relativamente elevado de NDVI, bem como as propriedades termais, as quais mantiveram-se com baixos valores de Ts.

O dossel dessas áreas, tende a ser mais fechado, o que impede a incidência de direta de radiação com o solo sem cobertura, conseqüentemente, evita a perda de energia em demasia por reflexão. Assim, o dossel absorve mais radiação, pois é interceptada por sua estrutura foliar.

É oportuno observar que o decréscimo de Rn do verão para o inverno, possui estreita relação com a fenologia da vegetação, sobretudo considerando que no inverno, há perda gradual da folhagem no Cerrado. Lenza e Klink (2006) mostraram para a Reserva Ecológica do IBGE, que no período chuvoso o percentual de cobertura da copa manteve-se em 100%, já no período seco, atinge valores mínimos de 50 a 60%. Essa perda gradual, infere em menores porções de radiação interceptadas e maiores perdas por reflexão.

Para as Matas Ciliares, os padrões de disponibilidade de radiação líquida mantêm-se elevados. Este fato pode ser associado ao aspecto florestal dessa classe, pois, o dossel contínuo tende a interceptar maiores porções de energia (GOTARDO et al., 2019). Bonan (2008) aponta que estruturas florestais com elevada razão da área do dossel (a qual projeta ao solo), tende a interceptar 95% da radiação no espectro do visível.

É salutar relacionar esses padrões com o status vegetacional e propriedades térmicas observados para essas amostras, sobretudo com maiores valores de NDVI em todos os períodos (indicando elevada atividade fotossintética), e menores médias de temperatura de superfície, o que decresce a emissão de ondas longas para a atmosfera.

Como mencionado na discussão do status vegetacional e propriedades térmicas, a proximidade das matas com os cursos hídricos, tende a manter a atividade fotossintética elevada em todos os períodos, sobretudo no verão, e isso, favorece o vigor da vegetação, o que influencia sistematicamente nos padrões de absorção de radiação, e em sua disponibilidade nesses ambientes.

Em pastagens, notou-se que houve menor disponibilidade de energia, em todos os períodos. No entanto, observa-se que no verão a distância gráfica das linhas, é relativamente baixa, já para o período seco, mostra-se maior. Isso está relacionado com os padrões do status vegetacional encontrados para essa classe, visto que no verão, a biomassa nas Pastagens é sobremaneira elevada (justificada pelo NDVI), e isso infere sistematicamente na absorção de energia para os parâmetros biofísicos. No inverno, com a queda acentuada dos níveis de verde, há maiores perdas de energia por reflexão no espectro visível, o que compete aos menores valores de NDVI. Do ponto de vista da sazonalidade climática, estudos mostram que para áreas de pastagens há tendência de menor predominância de  $R_n$  no inverno (FERREIRA et al., 2020).

Diante dos comportamentos analisados, é importante chamar atenção para o que se observou no estrato arbóreo e arbustivo (pois é a classe que se objetivou entender a dinâmica em relação ao entorno). Nessa classe (Vereda) para o ambiente de entorno alterado, notou-se que a disponibilidade energética é relativamente inferior ao comparar com o ambiente conservado, isso para todos os períodos que compreendem a esta análise.

### **3.3.5. Partição do Saldo de Radiação ( $R_n$ ) em Fluxos Energéticos (G, H e LE) para as Amostras de Usos e Coberturas do Solo nos Ambientes de Entorno das Veredas**

Este sub tópico se dedica a compreender o comportamento do balanço de energia nos ambientes alterados e conservados das Veredas escolhidas, sobretudo no prisma da partição do

$R_n$ , em que buscou-se entender como é o uso da energia disponível em cada amostra de uso e cobertura do solo. Antes de analisar por amostra, analisou-se a distribuição espacial dos componentes do balanço de energia. O fluxo de calor no solo ( $G$ ) seguiu comportamento proporcional com a incidência de radiação no ciclo sazonal, com maiores valores no período de verão, com decréscimo pronunciado no inverno (Figura 22).

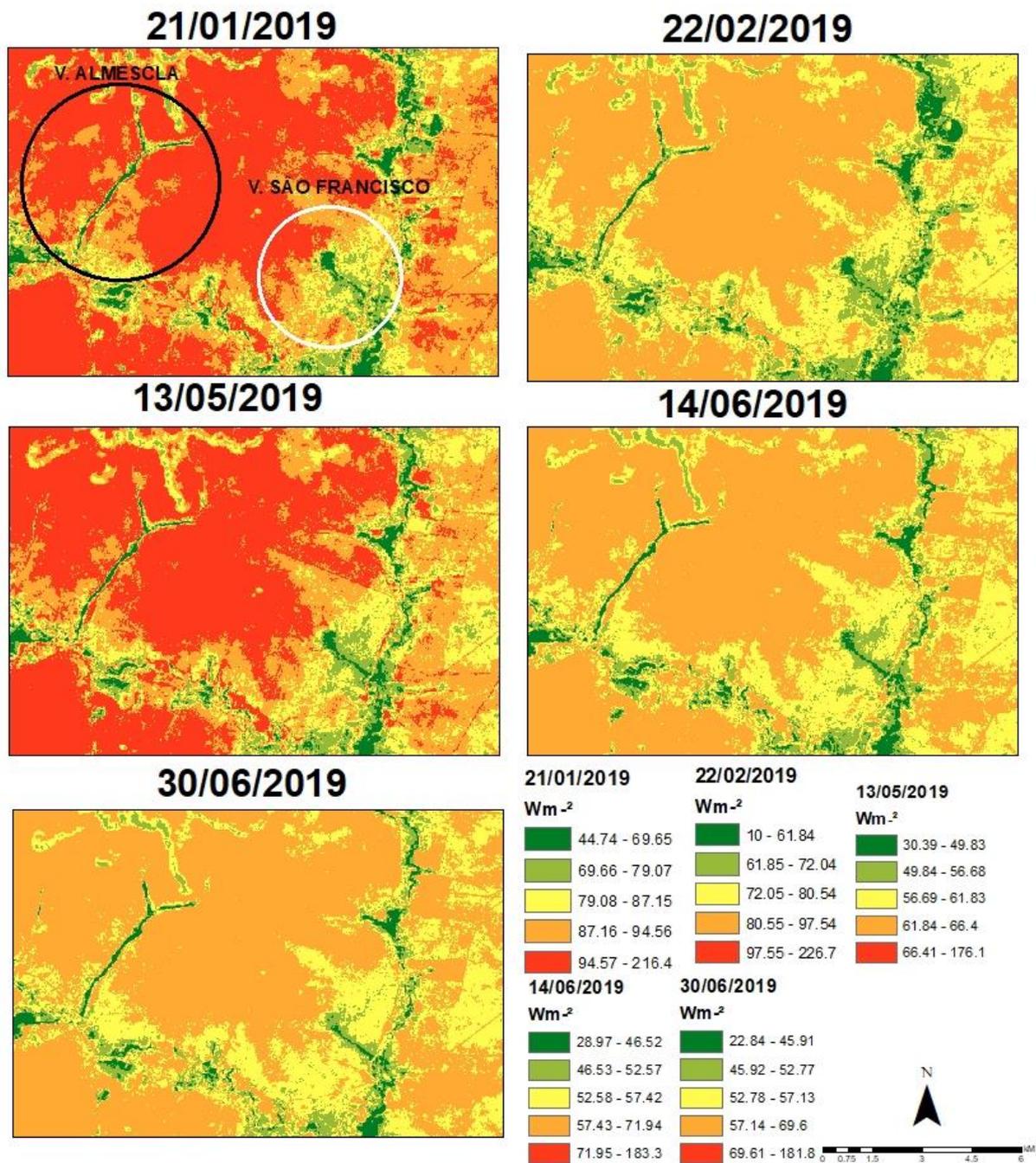


Figura 22 - Distribuição Espacial de G.

Em todos períodos, observou-se que os menores valores de G, são destinados aos ambientes com maior porte arbóreo, sobretudo Veredas (Almescla e São Francisco), matas ciliares e áreas com cerrado denso. Nota-se que em 21/01 e 13/05 tem-se os maiores valores de G, sobretudo no entorno da Vereda Almescla, em que há predominância de estratos vegetacionais ralos e com influência de sedimentos. Nos demais períodos fica nítido que há homogeneidade quanto à distribuição do fluxo de calor no solo. O calor sensível no solo, é

grande influenciador do fluxo de calor que aquece o ar (H), mantendo relação proporcional. Assim, Diante da espacialização de H, verifica-se que o comportamento é praticamente o mesmo (Figura 23).

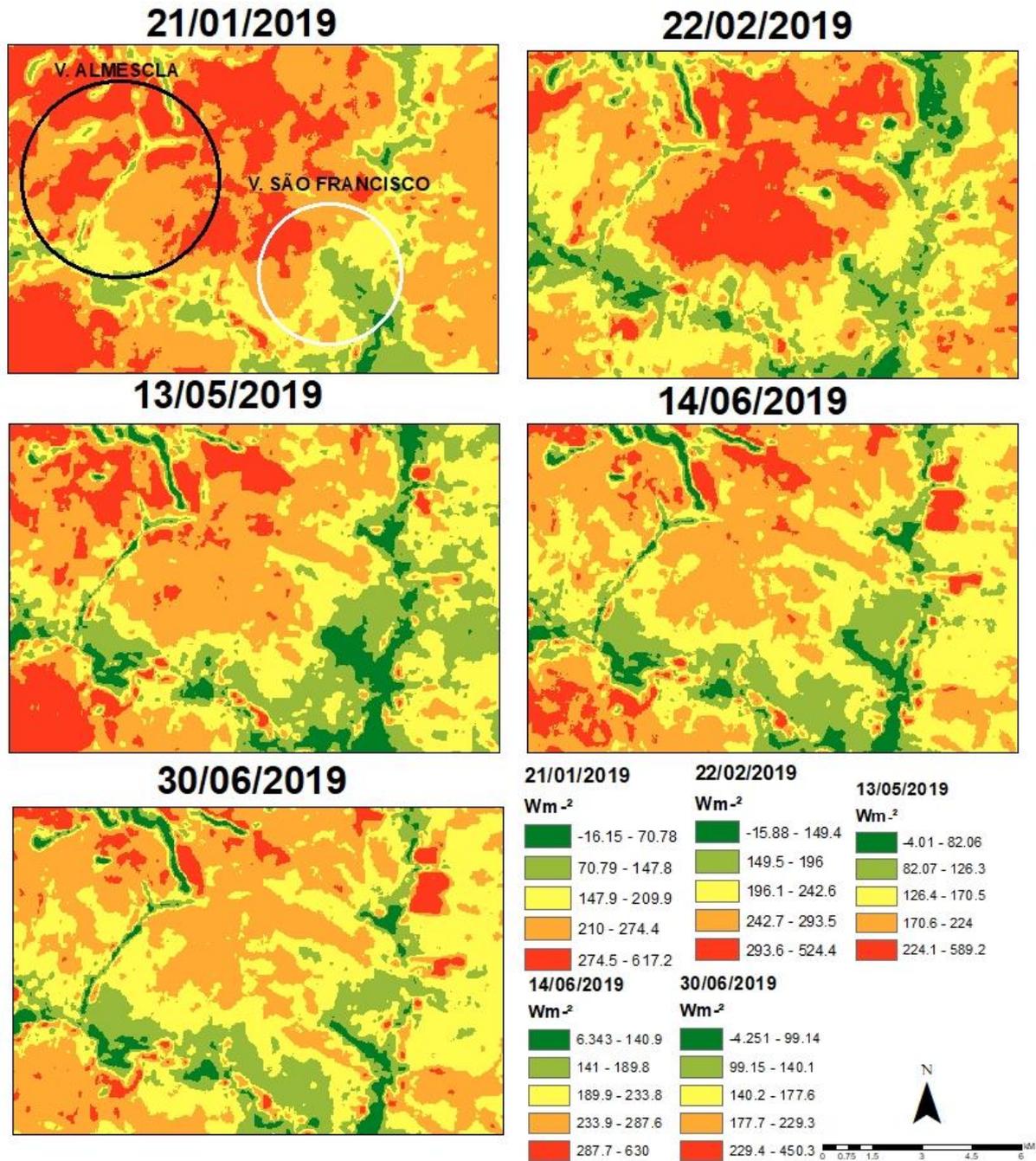


Figura 23 - Distribuição Espacial de H.

Mesmo tendo comportamento similar ao G, H possui maior variabilidade espacial. Para a Vereda Almecla, é oportuno chamar atenção para os maiores valores de H em 21/01 e 22/02, período com maior incidência de radiação solar. O entorno dessa Vereda para os períodos supracitados, apresentam os maiores valores de H para a área de estudo, o que inferiu no H do estrato arbóreo-arbustivo da Vereda. O entorno da Vereda São Francisco, apresentou valores baixos de H, sobretudo por manter vegetação densa em sua proximidade. Este fato, corroborou com os valores elevados de LE para a Vereda São Francisco (Figura 24).

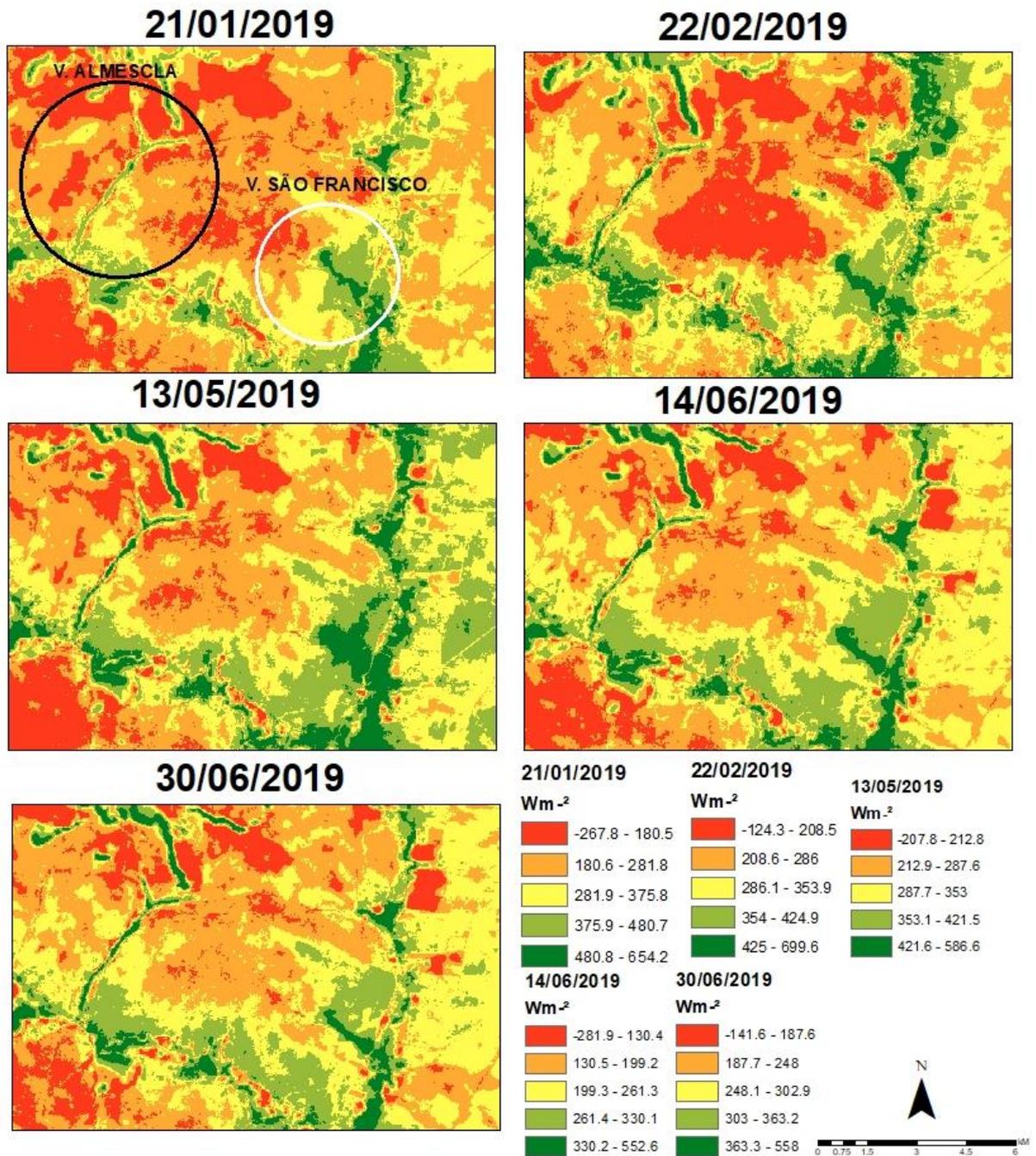
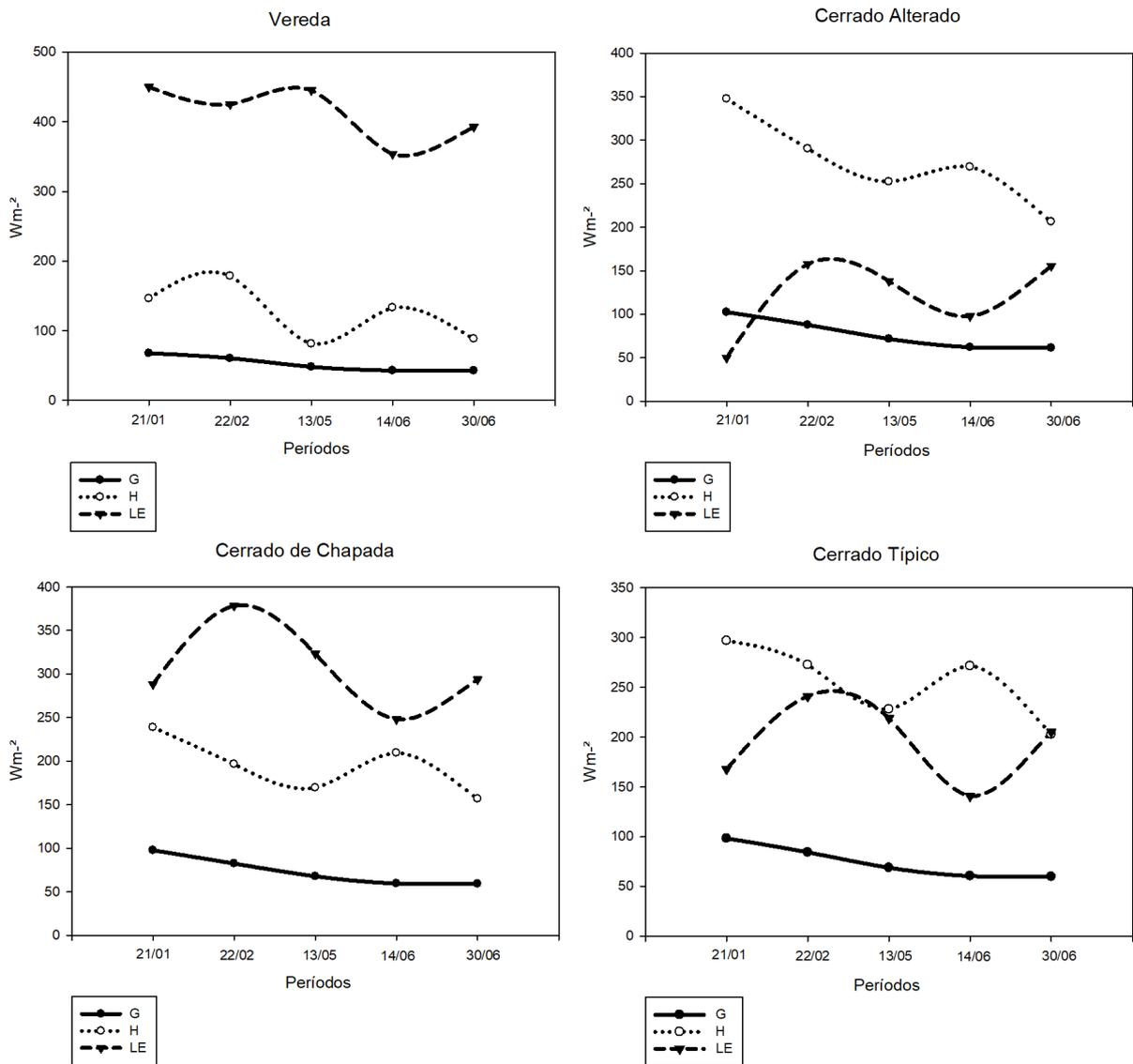


Figura 24 - Distribuição Espacial de LE.

Para 21/01 e 22/02, o LE para a Vereda Almescla, foi inferior em relação ao demais períodos, o que pode ser explicitado pela influência do entorno, o qual, contribuiu com maiores porções de H, e menores de LE. As áreas de vegetação rala e sob influência de sedimentos, apresentaram homogeneidade nos valores de LE, sobretudo mantendo baixos valores.

Analisando por pontos amostrais, menciona-se que, os estratos arbóreo e arbustivo apresentaram maiores valores de LE em todos os períodos analisados, em que as curvas médias

apresentaram declínio pronunciado no período seco (14/06), entretanto, nota-se que há um acríve em 30/06 (9,96% em relação à 14/06). No dia 21/01, essa fitofisionomia utilizou 68,92% do Rn para transformar água em vapor, 10,37% para aquecer o solo, e 22,40% para o aquecimento do ar. Em 22/02, 64% da energia foi convertida em vapor d'água (uso do LE), 9,11% para aquecimento do solo, e 26,89% do Rn transferido para as camadas adjacentes à superfície (H). Fica notório que no período úmido maiores porções do saldo de radiação são utilizadas pela vegetação para conversão de água em estado líquido na sua estrutura interna em vapor (a ser transferido para a atmosfera). O fluxo de calor sensível para essa fitofisionomia encontra-se relativamente baixo, sobretudo em função do umedecimento dos solos encharcados de água e da superfície foliar. Além disso, como as propriedades térmicas desse ambiente apresentou baixas médias termais, entende-se que o gradiente vertical entre  $T_s$  e  $T_{ar}$  foi relativamente baixo, o que promoveu os valores inferiores de H. Para o fluxo de calor no solo, observa-se certa linearidade comportamental, com maiores valores no verão (19,48% da energia disponível) e menores no inverno (16,47% do Rn), seguindo a dinâmica sazonal. Ainda analisando a representação gráfica das médias, observa-se que o comportamento do LE em relação ao G e H, é inversamente proporcional (Figura 25).



**Figura 25** - Médias de G, H e LE por classe amostral para o ambiente alterado.

Para as áreas de Cerrado Alterado, há uma inversão sistemática das curvas médias, na qual o predomínio do fluxo de calor sensível é visível. Em 21/01, 69,54% da energia líquida disponível foi convertida em H, já em 22/02, esta partição foi de 54,20%, 54,60% em 13/05, 62,76% em 14/06 e 48,78% para 30/06. O maior valores de H foi observado em 21/01, o que inferiu nos padrões de conversão de água (estado líquido) em vapor, pois esse período apresentou menor média de LE para esta classe. O fluxo de calor no solo, apresentou comportamento linear com o H, o que já era esperado, pois o G tende a influenciar os padrões de transferência vertical de energia para as camadas da atmosfera adjacentes à superfície. Outrora, é importante observar as propriedades térmicas elencadas para essa classe, em que

apresentou maiores valores de  $T_s$  para o verão, e, essa variável é matriz na obtenção do G. O status vegetacional dessa classe mostrou-se baixo, o que infere no comportamento do G, haja vista que não havendo cobertura vegetal a tendência é que ocorra contato direto da radiação solar incidente com a matriz do solo (os sedimentos, nesse caso), proporcionando superaquecimento do solo. Logo, essas nuances do status vegetacional, tendeu a influenciar o comportamento de LE, pois, não havendo biomassa, pequenas porções do  $R_n$  serão utilizadas (para o LE), como foi observado: 9,97% (21/01), 29,41 (22/02), 29,88 (13/05), 29,78 (14/06) e 36,72% (30/06). Nesses ambientes, em consequência dessa escassez de biomassa, a resistência aerodinâmica ao transporte de calor torna-se baixa, o que impulsiona a transferência de calor (H) para atmosfera adjacente.

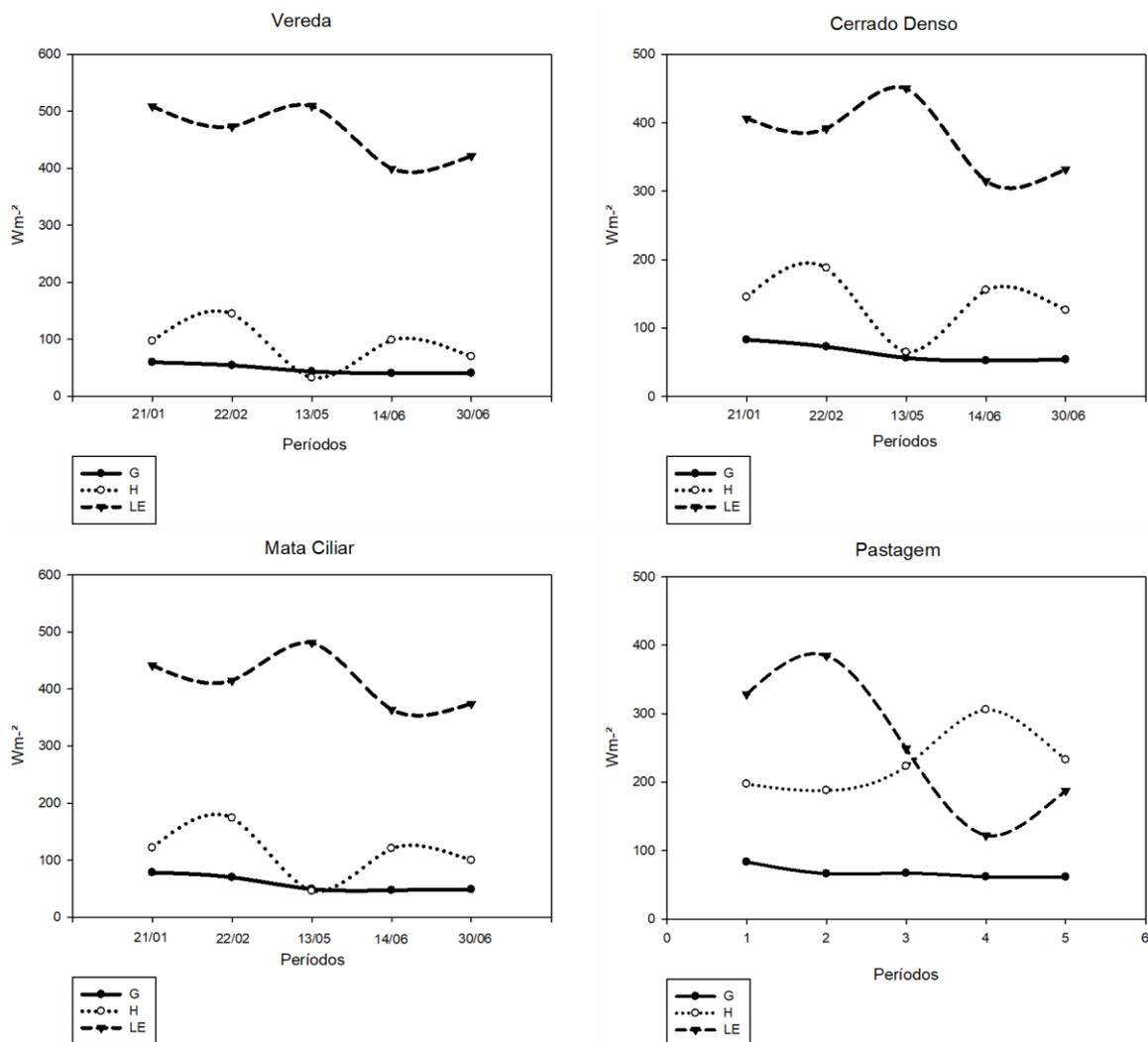
Em áreas de Chapada, a predominância dos fluxos foi para o LE, sobretudo considerando a biomassa presente, entretanto, notou-se que os valores de H e G, foram relativamente elevados, o que mantém relação intrínseca com a análise do status vegetacional, pois há predominância de Cerrado ralo nesses ambientes, o que por vez permite a incidência direta de radiação no solo, elevando a transferência vertical de energia após aquecimento no solo.

As áreas de Cerrado típico, chamaram atenção, pois apresentaram valores H superiores aos de LE, ou seja, esta fitofisionomia foi responsável por maior aquecimento do ar do que umedecimento. No entanto, esse comportamento era esperado, sobretudo conforme análise do status vegetacional e propriedades térmicas, já que essa fitofisionomia apresentou baixos valores de NDVI e relativa elevação de  $T_s$ , o que foi justificado com a presença de sedimentos próximos à essa fitofisionomia, bem como o espaçamento entre os indivíduos, que permitiu o aquecimento do solo e maior diferença entre a temperatura da superfície e do ar, promovendo turbulência demasiada dos fluxos de calor sensível.

Fazendo uma comparação entre o Cerrado em Chapada e o típico, os quais diferem no que toca à topografia em que estão dispostos, menciona-se que a diferença entre as densidades dos fluxos pode estar relacionada com a circulação do vento, haja vista que em áreas com cotas altimétricas mais elevadas, a tendência é que este (vento) seja mais intenso, removendo o calor (responsável pelo aquecimento) da vegetação e mantendo a dinâmica de transferência de vapor. Gianotti et al., (2013) apontaram esse comportamento em análise climática de duas fitofisionomias do Cerrado no Alto do Vale Jequitinhonha/MG.

Para o estrato arbóreo e arbustivo do ambiente de Vereda conservado, notou-se que os valores de LE foram superiores aos estimados no ambiente alterado, sendo 11,59% (21/01), 10,21% (22/02), 12,59% (13/05), 11,51% (14/06) e 6,89% (30/06). Já o H foi inferior,

apresentando 33,61% (21/01), 18,96% (22/02), 59,66% (13/05), 25,73% (14/06) e 21% (30/06) de diferença em relação à Vereda alterada, assim como G, que apresentou diferença percentual de 11,68% (21/01), 10,14% (22/02), 9,34% (13/05), 5,71% (14/06) e 4,10% (30/06). Dessa forma, menciona-se que o comportamento segue o mesmo (com maiores porções de Rn destinadas ao LE), no entanto, há decréscimos nas partições, em que, para o ambiente alterado mais energia foi destinada para o aquecimento do solo e ar (Figura 26).



**Figura 26** - Médias de G, H e LE por classe amostral para o ambiente conservado.

Para o Cerrado Denso, maiores porções do Rn foram convertidas em LE (mais de 60% para todos os períodos analisados), com comportamento inversamente proporcional ao H. O fluxo de calor no solo, mostra-se linear para todos os períodos, no entanto, apresenta baixos valores. É importante mencionar que a maior partição de Rn em LE, está intimamente

relacionado com o status vegetacional, o qual mostrou-se elevado, sobretudo devido ao dossel mais fechado. Este aspecto ainda infere nos menores valores de G, pois, há impedância da incidência direta da radiação no solo, decrescendo este fluxo. Para o H, menciona-se que o status vegetacional indica que a vegetação densa tende a impedir o transporte de calor (FERNANDES et al., 2019) tendo elevada resistência aerodinâmica.

As Matas Ciliares, seguem a mesma lógica do Cerrado Denso, com maiores valores de LE e menores de H e G, entretanto, nota-se que o LE é mais elevado para a Mata Ciliar em todos os períodos analisados. Esse comportamento mantém relação com o status vegetacional, bem como o ambiente em que estão dispostos os indivíduos dessa fitofisionomia, sendo em proximidade dos cursos hídricos, o que favorece a presença de água na estrutura da vegetação em longos períodos, conseqüentemente realizando a manutenção do fluxo de calor latente. Esses aspectos inferem em baixos valores de G e H, além do dossel contínuo dessa fitofisionomia, que impede a incidência de radiação no solo. Menciona-se ainda que assim como no Cerrado Denso, nessa fitofisionomia, o dossel impede a transferência intensa de calor sensível para as camadas adjacentes à superfície, apresentando elevada resistência aerodinâmica. Este comportamento é do ponto de vista físico, no entanto, vale mencionar o comportamento relacionado aos aspectos biofísicos. Como essa fitofisionomia apresentou elevado LE, logicamente possui taxas de evapotranspiração na mesma proporção, logo, as parcelas de ar próximas a superfície foliar tende estar mais úmidas, dificultando a transferência de calor sensível, pois esse aspecto úmido aumenta a densidade do ar.

As Pastagens apresentaram comportamento mais variado para este ambiente (conservado), com elevados valores de LE no verão, período em que o status vegetacional (NDVI) apresentou valores superiores para esta classe, sobretudo em função dos níveis de biomassa. O fluxo de calor sensível foi elevado se comparar com as demais fitofisionomias deste ambiente, no entanto para o verão, apresentou-se menor que o LE. O fluxo de calor no solo (G) apresentou comportamento linear (assim como nas demais fitofisionomias), no entanto, os valores foram superiores às demais fitofisionomias deste ambiente (Figura 30). Nota-se que há acréscimo de H e decréscimo LE do verão para o inverno, o que está relacionado com os padrões de biomassa que decrescem nessa transição. Os elevados valores de H podem ser justificados pela baixa resistência aerodinâmica do ponto físico, em que não havendo estruturas vegetacionais abundantes o ar tende a circular com mais facilidade, e, nessas condições, as parcelas de ar próximas à superfície tendem a estarem menos úmidas, conseqüentemente decresce a densidade, facilitando a elevação (por convecção) dos fluxos de calor sensível.

Diante da análise dos componentes do Balanço de Energia, chama-se atenção para o comportamento dos estratos Arbóreo e Arbustivo das Veredas, pois, constatou-se que no ambiente com entorno alterado, os valores de G e H foram superiores e LE inferior aos observados no ambiente conservado. Estes comportamentos serão essenciais para discussão de interação de ambientes no próximo sub tópico, em que se objetivou apresentar e explicitar as interações observadas no decorrer das explicações do presente estudo.

### **3.3.6. Interação de Ambientes**

Conforme observado nas explicações dos resultados até o presente momento, entende-se que os comportamentos analisados são sistêmicos, sobretudo ao compreender que desde às propriedades termais, a disponibilidade de energia, até o desdobramento do balanço de energia, o status vegetacional auxiliou na explicitação. Dessa forma, este sub tópico foi chave para subsidiar o objetivo deste trabalho, o qual é compreender a influência do entorno de Veredas em seus fluxos energéticos.

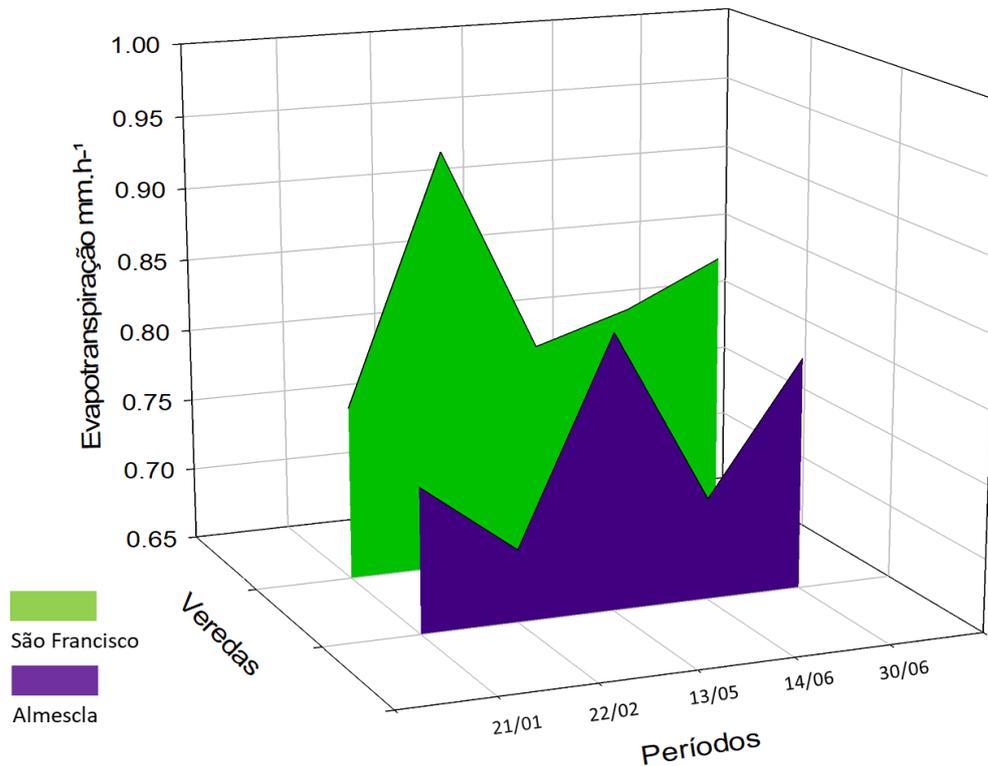
Inicialmente é essencial mencionar que o status vegetacional para as amostras de Vereda (estrato arbóreo e arbustivo) a diferença é mínima entre os períodos analisados, sendo 5,30% (21/01 e 22/02), 3,02% (13/05), 1,03% (14/06) e 0,23% (30/06), indicando que as condições estruturais da vegetação são praticamente as mesmas. Isso auxiliou de maneira ímpar para compreender a dinâmica de interação entre os ambientes, pois, tendo as mesmas condições estruturais, essa fitofisionomia sofreu influência dos ambientes que a circundam, haja vista que apresentou diferenças significativas nas propriedades termais, disponibilidade energética e fluxos de energia.

Para a Vereda São Francisco (com entorno conservado) os usos e coberturas do entorno apresentaram maiores valores de LE, e menores de G e H, com exceção para áreas de pastagens. As áreas de Cerrado Denso que circundam toda Vereda, utilizaram maiores porções de  $R_n$  para o LE, indicando que não houve liberação intensa de energia em forma de calor sensível, não inferindo nos valores de LE da Vereda.

É salutar mencionar o comportamento das propriedades térmicas, haja vista que inferem sistematicamente nos valores de H, e para os usos que circundam a Vereda São Francisco, observou-se baixas médias térmicas, conseqüentemente não foram elevadas para a Vereda em tese, isso indica que os ambientes da entorno e os estratos arbóreo e arbustivo, mantiveram a estabilidade termodinâmica.

Nessa perspectiva, o contexto térmico do ambiente com entorno alterado mostrou-se diferente do observado para o entorno conservado. O campo térmico das coberturas mais próximas da Vereda Almescla, mostrou-se elevado, isso inferiu nos valores de H (que foram demasiadamente mais elevados que o LE). No ambiente de entorno com baixo status vegetacional (sobretudo Cerrado Sob Influência de Sedimentos e Sentido Restrito) diante da incidência de radiação solar, tendeu a ter liberação (para a atmosfera) de energia em forma de calor sensível, entretanto, havendo corpos mais úmidos em proximidade (no caso da Vereda Almescla), há ocorrência de transferência de energia no contexto horizontal. Este comportamento foi observado para a Vereda Almescla, que apresentou maiores médias termais e fluxo de calor sensível, menor disponibilidade de energia e LE. Dessa forma, entende-se que, do ponto de vista da termodinâmica, esses ambientes com status vegetacional de Cerrado Típico e Alterado, buscaram reestabelecer o campo térmico e energético com o ambiente da Vereda Almescla.

A fim de mostrar o que essa dinâmica infere nas Veredas, analisou-se a evapotranspiração instantânea para todos os períodos representados (Figura 27). Chama-se atenção para o uso do dado instantâneo, representado pela fração evaporativa (FE), e não a diária. Muitos estudos extrapolam a FE como dado diário tendo a prerrogativa de ser constante durante o período diurno (COSTA JÚNIOR; SANTOS; SILVA, 2017), entretanto, outros trabalhos apontam que esta variável raramente é constante (MKHWANAZI; CHÁVEZ; ANDALES, 2015), não sendo aconselhado utilizar o parâmetro em escala diária.

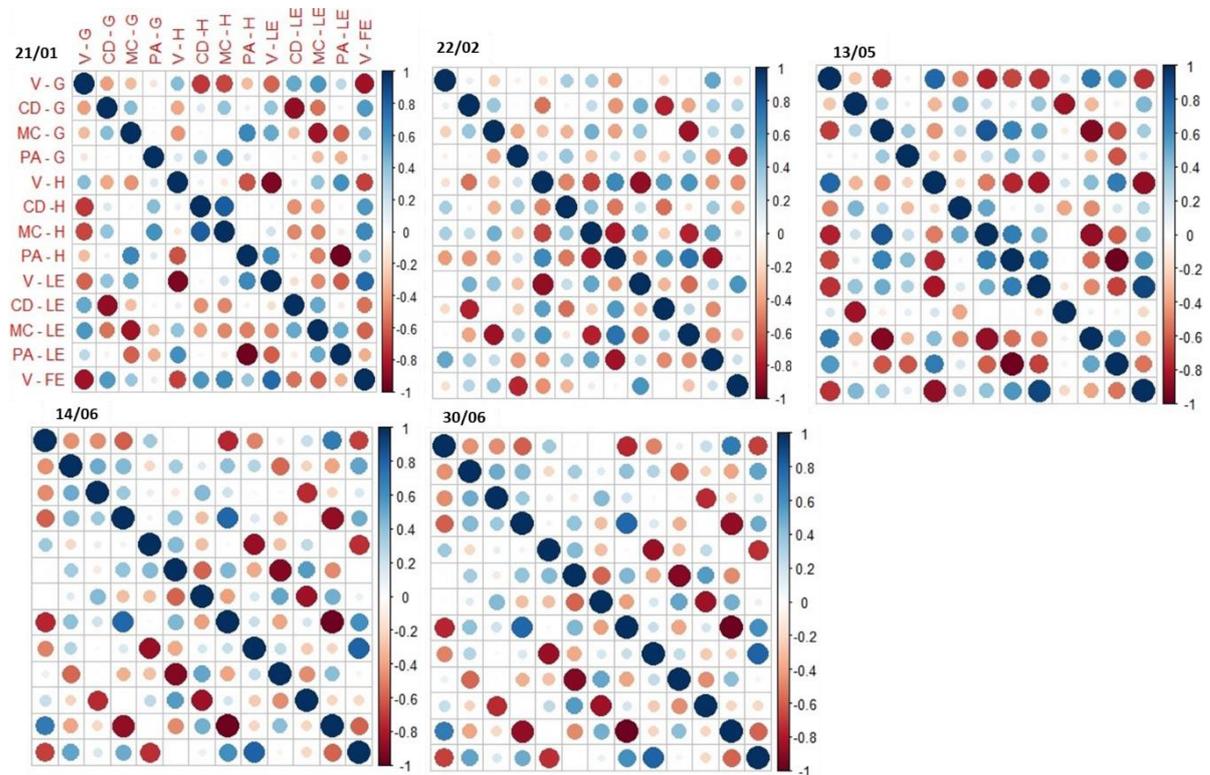


**Figura 27** - Fração Evaporativa para as Veredas Almescla e São Francisco, para 21/01, 22/02, 13/05, 14/06 e 30/06 de 2019.

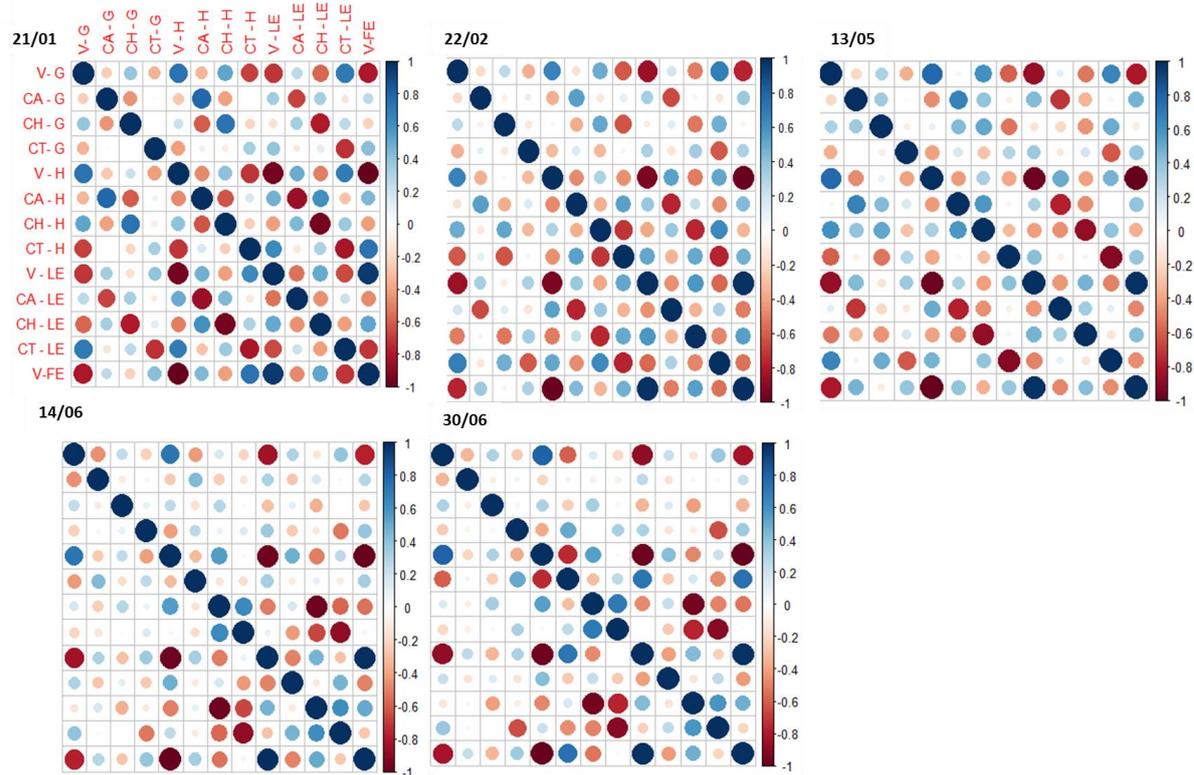
Observa-se que a fração evaporativa na Vereda Conservada mantém-se elevada em relação à com entorno alterado, praticamente em todos os períodos analisados, exceto em 13/05 (período 3), em que a FE da Vereda Almescla mostra-se 5,02% superior à Vereda São Francisco. Nos demais períodos, notou-se que a FE na Vereda São Francisco foi superior à Almescla em 2,40% (21/01), 25,18% (22/02), 15,55% (14/06) e 3,19% (30/06). Do ponto de vista geral, assumindo uma média de todos os períodos, sendo 0,77 mm.h<sup>-1</sup> para Almescla e 0,84 mm.h<sup>-1</sup> para a Vereda São Francisco, entende-se que a Vereda com entorno alterado, teve sua atividade evapotranspirativa decrescendo na ordem de 8,87%.

Observando as curvas de FE, nota-se que na Vereda São Francisco as curvas dos parâmetros seguem a lógica da meteorologia, com maiores valores no verão e declínio anunciado no inverno. Em 21/01, observa-se que a fração evaporativa obteve correlação perfeita negativa com o fluxo de calor no solo da própria Vereda (Figura 28), fraca positiva com fluxo de calor no solo do Cerrado Denso e Mata Ciliar. Salienta-se que mesmo não apresentando antes as variações de G, H e LE para as veredas, atribui-se esses parâmetros nas correlações, pois são matrizes da FE, e apresentam comportamento sazonal padrão aos demais

usos. Com a pastagem, a correlação foi nula. No dia 22/02, destaca-se a correlação perfeita negativa entre FE da Vereda São Francisco e o fluxo de calor no Solo da Pastagem. Em 13/05, nota-se correlação negativa perfeita entre a FE e o H da Vereda. Em 14/06 e 30/06, destaca-se as correlações fracas negativas entre G da Mata Ciliar, e H do Cerrado Denso e Mata Ciliar. A Almescla, mostrou comportamentos atípicos do esperado, e este está relacionado com o H para Cerrado Alterado (correlação ínfima) e o Cerrado típico (correlação fraca) (Figura 29), em que, mantiveram-se elevados no verão e decresceram no inverno, podendo inferir relações comportamentais.



**Figura 28** - Matriz da Correlação de Pearson para os Usos e Coberturas da terra na Vereda São Francisco. G - Fluxo de Calor no Solo. H - Fluxo de Calor Sensível. LE-Fluxo de Calor Latente. FE- Fração Evaporativa. V: Vereda; CD: Cerrado Denso; MC: Mata Ciliar; PA: P



**Figura 29** - Matriz da Correlação de Pearson para os Usos e Coberturas da terra na Vereda Almescla G - Fluxo de Calor no Solo. H - Fluxo de Calor Sensível. LE-Fluxo de Calor Latente. FE- Fração Evaporativa. V: Vereda; CA: Cerrado Alterado; CH: Cerrado de Chapada; C

Diante desses decréscimos nas taxas de evapotranspiração (Almescla em relação a São Francisco), não observou-se efeito oásis, o qual é observado em análises empíricas, sobretudo com métodos convencionais, pelo contrário, notou-se que o aumento do campo térmico e fluxos de G e H, decrescem a energia para manutenção de vapor. Analisando a estrutura de cálculo do SEBAL, sabe-se que a  $T_s$  é matriz nos parâmetros posteriores a ela, sobretudo G, H, LE e FE, por isso a análise das propriedades térmicas foi essencial para chegar a esses resultados.

Assim, pode-se argumentar que o aumento da  $T_s$  na Vereda Almescla, em função dos usos do entorno, inferiu em ressecamento da superfície foliar e no solo, conseqüentemente, o potencial evapotranspirativo decresceu e obteve-se elevação dos fluxos de calor no solo e sensível. Esse decréscimo do potencial evapotranspirativo infere sistematicamente na absorção de carbono atmosférico por essa fitofisionomia (Vereda) o que tende a afetar o metabolismo da mesma. Normalmente, na estação seca, espera-se declínio da disponibilidade hídrica e conseqüentemente da atividade fotossintética, relacionando sobretudo com os aspectos de incidência de radiação, bem como declínio da área foliar (FRANCO, 1998). No entanto, o ressecamento da superfície por aumento da  $T_s$ , tende a forçar o processo fotossintético da Vereda, sobretudo o decrescendo. Entende-se que esses comportamentos supracitados podem

expressar influência significativa no microclima da área de estudo, sobretudo inferindo na dinâmica de troca de massa para com a baixa troposfera.

#### 4. Considerações Finais

A presente pesquisa propôs analisar o comportamento do balanço de energia por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto nos ambientes de Veredas, considerando os usos e coberturas do solo no entorno que às circundam. Foram selecionadas 2 Veredas na APA-RP/MG, uma com o entorno alterado e outra com entorno conservado. Este trabalho é essencial para análises ecossistêmicas em ambientes de Veredas, pois demonstrou como as ações antropogênicas influenciaram na dinâmica energética desses sistemas vegetacionais.

Quanto à validação, constatou-se que  $R^2$  de 0.65,  $R^2$  ajustado em 0.53 e o RQME foi de  $0.34^\circ\text{C}$  entre os dados modelados e observados. Após essa validação, deu-se início às análises objetivadas, assumindo que os dados estavam consistentes.

Considerando os usos e coberturas do entorno das Veredas e o estrato arbóreo-arbustivo, avaliou-se o status vegetacional por classe. Assumiu-se que o NDVI representaria este status, sobretudo considerando os aparatos teóricos que competem a ele. Durante a discussão, foram apresentadas as limitações do NDVI, sobretudo pela saturação de seus valores (referente à intensidade máxima de reflectância no espectro infravermelho próximo), no entanto, essa limitação não impossibilitou a análise, visto que o objetivo nessa etapa foi entender o comportamento do vigor vegetativo com a dinâmica sazonal.

Assim, constatou-se que os usos e coberturas do entorno alterado apresentaram baixas densidades, sobretudo os mais próximos à Vereda Almescla, sendo o Cerrado Sentido Restrito e o Cerrado Sob Influência de Sedimentos (areia). Entretanto, um fato que foi essencial para o desdobramento das análises, foi a semelhança dos valores de NDVI para os estratos arbóreo e arbustivo para a Vereda Almescla e São Francisco, mostrando diferenças insignificantes, o que compete a essas amostras o mesmo status vegetacional.

As propriedades termais mostraram relação com o status vegetacional, sobretudo apresentando comportamento inversamente proporcional. Destaca-se que para o ambiente com entorno alterado, observou-se os maiores valores de  $T_s$ , sobretudo para Cerrado Sob Influência de Sedimentos e Sentido Restrito. Notou-se ainda que, para o estrato da Vereda Almescla as médias termais foram mais elevadas em relação à Vereda São Francisco.

Analisando o balanço de energia, notadamente observou-se que a menor disponibilidade energética foi estimada nos usos com maiores valores de temperatura de superfície e menor NDVI. Para a Vereda Almescla, houve menores médias de energia líquida se comparar com a Vereda São Francisco, isso para todos os períodos analisados. No entanto, entre as classes analisadas, os maiores valores de  $R_n$  foram distribuídos para as Veredas. Notou-se influência

significativa da sazonalidade climática em função da radiação solar global, bem como disponibilidade hídrica, conforme dados do INMET.

Para o ambiente com entorno alterado foram observados momentos em que os fluxos de calor no solo e sensível mantiveram-se elevados, sobretudo para áreas de Cerrado Alterado e Cerrado Típico, que apresentaram baixos valores de NDVI e elevada  $T_s$ . No ambiente conservado (Vereda São Francisco) apenas a pastagem obteve valores elevados de G e H em relação às demais classes, no entanto, a predominância entre as coberturas do entorno se deu pelo uso de energia para fluxo de calor latente, sobretudo a Mata Ciliar e o Cerrado Denso.

Do ponto de vista das interações de ambientes, ficou explícito que para a Vereda com entorno alterado, notou-se maiores valores de temperatura de superfície em seu estrato arbóreo-arbustivo, conseqüentemente alicives significativos do fluxo de calor sensível. Já para o ambiente em que observou-se aspectos de conservação (sobretudo com NDVI elevado) constatou-se que os valores de LE mantiveram-se predominantes para a Vereda (São Francisco) e o H foi menos elevado (em relação à Vereda Almescla).

Com base nos comportamentos dos fluxos, estabeleceu-se a discussão de uma variável resposta, que nesse caso foi a fração evaporativa (FE). A partir disso, constatou-se que para a Vereda Almescla houve decréscimo do potencial evapotranspirativo, sobretudo observando baixos valores de FE no verão, período em que notou-se maior influência do entorno nos fluxos de calor sensível e do solo. A Vereda São Francisco apresentou dinâmica esperada conforme os padrões meteorológicos. Chama-se atenção que, esse comportamento de decréscimo de FE, tende a afetar sistematicamente os padrões de absorção de carbono, o que infere no estágio de desenvolvimento da vegetação.

Do ponto de vista metodológico, menciona-se que os procedimentos aplicados nessa área, podem ser facilmente utilizados em outras regiões, sobretudo considerando a facilidade instrumental e rapidez operacional. Dessa forma, reforça-se que as técnicas de sensoriamento remoto orbital são essenciais para estudos ambientais.

Conclui-se que, este estudo possui relevância no que concerne ao entendimento da dinâmica de interação de ambientes de Veredas com diferentes usos e coberturas do solo que as circundam, apresentando dados que podem auxiliar a gestão e conservação de Veredas.

## Referências Bibliográficas

- ABERA, T. A. et al. Climatic impacts of bushland to cropland conversion in Eastern Africa. **Science of the Total Environment**, v. 717, p. 137255, 2020.
- ALBANO, C. M. et al. Drought Sensitivity and Trends of Riparian Vegetation Vigor in Nevada, USA (1985–2018). **Remote Sensing**, v. 12, n. 9, p. 1362, 2020.
- ALENCAR-SILVA, T.; MAILLARD, P. Delimitação, caracterização e tipologia das veredas do Parque Estadual Veredas do Peruaçu. **Revista Geografias**, p. 24–39, 2011.
- ALMEIDA, R. P. DE; VELOSO, V. H. S.; NERY, C. V. M. Uso do sensoriamento remoto para caracterização de veredas em diferentes estágios de conservação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 05, p. 1591–1605, 2016.
- ANGELINI, L. P. et al. Balanço de energia nas condições de mudanças de uso do solo na Região Sul do Estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, p. 353–363, 2017.
- 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, 2016a.
- 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, 2016b.
- AUGUSTIN, C. H. R. R.; DE MELO, D. R.; ARANHA, P. R. A. Aspectos geomorfológicos de veredas: um ecossistema do bioma do cerrado, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 1, p. 103–114, 2009.
- BASTIAANSSEN, 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, 1998a.
- BASTIAANSSEN, 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, 1998b.
- BATTILANI, J. L.; SCREMIN-DIAS, E.; SOUZA, A. L. T. DE. Fitossociologia de um trecho

da mata ciliar do rio da Prata, Jardim, MS, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 3, p. 597–608, 2005.

BELLÓN, B. et al. Integrated Landscape Change Analysis of Protected Areas and their Surrounding Landscapes: Application in the Brazilian Cerrado. **Remote Sensing**, v. 12, n. 9, p. 1413, 2020.

BISHT, G.; BRAS, R. L. Estimation of net radiation from the MODIS data under all sky conditions: Southern Great Plains case study. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, n. 7, p. 1522–1534, 2010.

BIUDES, M. S. et al. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 202, p. 112–124, 2015.

BOAVENTURA, R. S. Contribuição ao estudo sobre a evolução das veredas. **Encontro Nacional de Geógrafos**, v. 3, p. 13–17, 1978.

BONAN, G. B. Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. **Science**, v. 320, n. 5882, p. 1444–1449, 2008.

CARMO, J. F. A. et al. Balanço de radiação da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial no submédio do vale São Francisco. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, p. 91–100, 2018.

CIRELLI, K. R. N.; PENTEADO-DIAS, A. M. Análise da riqueza da fauna de Braconidae (Hymenoptera, Ichneumonoidea) em remanescentes naturais da Área de Proteção Ambiental (APA) de Descalvado, SP. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 47, n. 1, p. 89–98, 2003.

COSTA JÚNIOR, V. G.; SANTOS, C. A. C. DOS; SILVA, T. L. DO V. Surface energy balance over heterogeneous areas through remote sensing algorithms. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, 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.

DA SILVA LOTUFO, J. B. et al. Índices Espectrais e Temperatura de Superfície em Áreas Queimadas no Parque Estadual do Araguaia em Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia**

**Física**, v. 13, n. 02, p. 648–663, 2020.

DE MAGALHÃES BETHONICO, M. B. Rio Pandeiros: território e história de uma área de proteção ambiental no Norte de Minas Gerais. **Acta Geográfica**, v. 3, n. 5, p. 23–38, 2010.

DOS SANTOS, C. A. C. et al. Spatio-temporal patterns of energy exchange and evapotranspiration during an intense drought for drylands in Brazil. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 85, p. 101982, 2020.

DOS SANTOS, M.; CARIBÉ, C. Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados--PRODECER: um espectro ronda os cerrados brasileiros. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 24, n. 2, p. 384–416, 2016.

DUTRA, R. M. S.; DE SOUZA, M. M. O. Cerrado, Revolução Verde e a Evolução no Consumo de Agrotóxicos. **Sociedade & Natureza**, v. 29, n. 3, p. 469–484, 2017.

ECHER, E.; SOUZA, M. P.; SCHUCH, N. J. A Lei de Beer aplicada na atmosfera terrestre. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 3, p. 276–283, 2001.

ECHER, M. P.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. A importância dos dados de cobertura de nuvens e de sua variabilidade: Metodologias para aquisição de dados. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 341–352, 2006.

ELNMER, A. et al. Mapping daily and seasonally evapotranspiration using remote sensing techniques over the Nile delta. **Agricultural Water Management**, v. 213, p. 682–692, 2019.

EPIPHANIO, J. C. N. et al. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 31, n. 6, p. 445–454, 1996.

FATHIZAD, H. et al. The investigation of spatiotemporal variations of land surface temperature based on land use changes using NDVI in southwest of Iran. **Journal of African Earth Sciences**, v. 134, p. 249–256, 2017.

FAUSTO, M. A. et al. Impacto da alteração do uso do solo no saldo de radiação no Cerrado do sul de Mato Grosso. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 2, p. 350–361, 2016.

FENG, J. et al. Estimating surface heat and water vapor fluxes by combining two-source energy balance model and back-propagation neural network. **Science of The Total Environment**, v.

729, p. 138724, 2020.

FERNANDES, G. S. T. et al. Balanço de energia via sensoriamento remoto em fragmentos de Caatinga no Sul do Piauí. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 9, n. 3, p. 131, 2019.

FERREIRA, M. E. et al. Análise comparativa dos produtos MODIS Ecologia para o monitoramento biofísico ambiental do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, n. 2, p. 251–260, 2006.

FERREIRA, T. R. et al. The use of remote sensing for reliable estimation of net radiation and its components: a case study for contrasting land covers in an agricultural hotspot of the Brazilian semiarid region. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 291, p. 108052, 2020.

FILGUEIRAS, R. et al. DYNAMICS OF ACTUAL CROP EVAPOTRANSPIRATION BASED IN THE COMPARATIVE ANALYSIS OF SEBAL AND METRIC-EEFLUX. **IRRIGA**, v. 1, n. 1, p. 72–80, 2019.

FONTANA, D. C. et al. Modificações na quantidade e qualidade da radiação solar ao atravessar a atmosfera e interagir com plantas de soja. **Agrometeoros**, v. 27, n. 1, 2020.

FRANCISCO, C. N. et al. Análise do impacto da correção atmosférica no cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada a partir de Imagem Landsat 8/OLI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 01, p. 76–86, 2020.

FUNARI, F. L.; PEREIRA FILHO, A. J. Estimativa do fluxo de calor no solo a partir da temperatura do solo em São Paulo, SP. **Revista do Instituto Geológico**, v. 38, n. 1, p. 49–57, 2017.

GAIDA, W. et al. Correção Atmosférica em Sensoriamento Remoto: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 01, p. 229–248, 2020.

GIANOTTI, A. R. DA C. et al. **Análise microclimática em duas fitofisionomias do cerrado no Alto Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais** *Revista Brasileira de Meteorologia* scielo , , 2013.

GIONGO, P. R.; VETTORAZZI, C. A. Albedo da superfície por meio de imagens TM-Landsat 5 e modelo numérico do terreno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 8, p. 833–838, 2014.

GOMES, H. F. B. et al. Balanço de radiação em diferentes biomas no estado de São Paulo mediante imagens Landsat 5. **Geociências (São Paulo)**, v. 28, n. 2, p. 153–164, 2009.

GOTARDO, R. et al. **Comparação entre variáveis microclimáticas de local aberto e florestal em um bioma da Mata Atlântica, sul do Brasil** *Ciência Florestal* scielo , , 2019.

GUPTA, R. K.; VIJAYAN, D.; PRASAD, T. S. New hyperspectral vegetation characterization parameters. **Advances in Space Research**, v. 28, n. 1, p. 201–206, 2001.

GUSMÃO, A. C. V. L. et al. Determinação do saldo radiativo na Ilha do Bananal, TO, com imagens orbitais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 10, p. 1107–1114, 2012.

HERRAIZ, Á. H.; MARUGÁN, A. P.; MÁRQUEZ, F. P. G. A review on condition monitoring system for solar plants based on thermography. In: **Non-Destructive Testing and Condition Monitoring Techniques for Renewable Energy Industrial Assets**. [s.l.] Elsevier, 2020. p. 103–118.

HUETE, A. Huete, AR A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment. **Remote sensing of environment**, v. 25, p. 295–309, 1988.

IBGE. **Mapa de biomas do Brasil. Primeira aproximação** Ministério do Meio Ambiente e IBGE Brazil, , 2004.

KER, J. C. Latossolos Do Brasil: Uma Revisão. **Geonomos**, v. 5, n. 1, p. 17–40, 1997.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian cerrado. **Conservation biology**, v. 19, n. 3, p. 707–713, 2005.

KOSSOWSKI, J. The relation between soil heat flux and net radiation on cultivated fields with and without plant cover. **Acta Agrophysica**, v. 2001, n. 45, p. 117–129, 2020.

LEHN, C. R.; ALVES, F. M.; DAMASCENO JUNIOR, G. A. Florística e fitossociologia de uma área de cerrado sensu stricto na região da borda oeste do Pantanal, Corumbá, MS, Brasil. **Pesquisas, Botânica**, v. 59, p. 129–142, 2008.

LEITE, M. E. et al. Análise do Comportamento do Saldo de Radiação Instantâneo em Áreas de Cerrado por Produtos Orbitais (Analyze of Behavior of Net Radiation Instantaneous in the

Areas of Cerrado by Orbitals Products). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 6, p. 2067–2080, 2018a.

LEITE, M. E. et al. Geotechnologies applied to the surface temperature estimation in different soil uses and occupations in the environmental protection area of the Rio Pandeiros–Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, v. 28, n. 53, p. 490–509, 2018b.

LEITE, M. E. et al. Quantificação da perda de água por evapotranspiração em diferentes usos da terra da Bacia do Rio Vieira/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.

LENZA, E.; KLINK, C. A. **Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito de Brasília, DF Brazilian Journal of Botany** scielo , , 2006.

LOPES, H. L. et al. **Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** scielo , , 2010.

MACHADO, C. C. et al. Estimativa do balanço de energia utilizando imagens TM-Landsat 5 e o algoritmo SEBAL no litoral sul de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 1, p. 55–67, 2014.

MARTINS, A. P.; ROSA, R. Estimativa de evapotranspiração real a partir de imagens do sensor MODIS/AQUA e do algoritmo SEBAL na bacia do Rio Paranaíba–Brasil/Real evapotranspiration estimate from images of MODIS/AQUA sensor and SEBAL algorithm in Paranaíba river basin–Brazil. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 57, p. 351–367, 2019.

MENDONÇA, J. C. et al. Estimativa do fluxo do calor Sensível utilizando o algoritmo SEBAL e imagens MODIS para a região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 1, p. 85–94, 2012.

MKHWANAZI, M.; CHÁVEZ, J. L.; ANDALES, A. A. SEBAL-A: A remote sensing ET algorithm that accounts for advection with limited data. Part I: Development and validation. **Remote Sensing**, v. 7, n. 11, p. 15046–15067, 2015.

RAMÍREZ-CUESTA, J. M. et al. METRIC-GIS: An advanced energy balance model for computing crop evapotranspiration in a GIS environment. **Environmental Modelling &**

**Software**, v. 131, p. 104770, 2020.

RCORE, T. **R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria**, 2016.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Atmosphere: The Fluid Envelope That Covers the Planet Earth. In: **Soil, Plant and Atmosphere**. [s.l.] Springer, 2020. p. 63–80.

ROCHA JÚNIOR, R. L. et al. Análise de tendência das componentes do saldo de radiação e número de horas de frio em Cruz Alta-RS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 01, p. 256–270, 2020.

ROUSE, J. W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation [NASA/GSFCT Type II Report]. **Greenbelt, MD: NASA/Goddard Space Flight Center**, 1973.

SANO, E. E. et al. Land use dynamics in the Brazilian Cerrado in the period from 2002 to 2013. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, p. 1–5, 2019.

SANTOS, P. S.; FERREIRA, L. G. Análise descritiva dos aspectos biofísicos associados aos padrões de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Vermelho, bioma cerrado. **Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica**, n. 20, p. 3–28, 2017.

SCHAEFER, C.; FABRIS, J. D.; KER, J. C. Minerals in the clay fraction of Brazilian Latosols (Oxisols): a review. **Clay Minerals**, v. 43, n. 1, p. 137–154, 2008.

SENKONDO, W. et al. Comparing remotely-sensed surface energy balance evapotranspiration estimates in heterogeneous and data-limited regions: A case study of Tanzania's Kilombero Valley. **Remote Sensing**, v. 11, n. 11, p. 1289, 2019.

SILVA, L. A. P. DA et al. Estimating Water Loss in an Environmental Protection Area - Minas Gerais, Southeast Brazil. **Caderno de Geografia**, v. 30, n. 62, p. 1–20, 2020.

SILVA, L. A.; LEITE, M. R.; DE MAGALHÃES FILHO, R. ESTIMATIVA POR SENSORIAMENTO REMOTO DO COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM ÁREAS DE VEREDAS. **Geografia em Questão**, v. 11, n. 1, p. 1–17, 2018.

SILVA OLIVEIRA, B. et al. Improved albedo estimates implemented in the METRIC model for modeling energy balance fluxes and evapotranspiration over agricultural and natural areas in the Brazilian Cerrado. **Remote Sensing**, v. 10, n. 8, p. 1181, 2018.

SINGH, R. P. et al. Modelling of evapotranspiration using land surface energy balance and thermal infrared remote sensing. **Tropical Ecology**, v. 61, p. 1–9, 2020.

STATELLA, T.; SOUTO, R. N. V.; PEREIRA, R. R. D. ANÁLISE DE DISTORÇÕES RADIOMÉTRICAS DE IMAGENS DA CÂMERA TETRACAM ADC LITE. **Geociências (São Paulo)**, v. 38, n. 4, p. 1083–1096, 2020.

SUN, S. K. et al. Evaluation of the mechanisms and performances of major satellite-based evapotranspiration models in Northwest China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 291, p. 108056, 2020.

THOMPSON, D. R. et al. Airborne mapping of benthic reflectance spectra with Bayesian linear mixtures. **Remote Sensing of Environment**, v. 200, p. 18–30, 2017.

UFV, C.; UFLA, F. Mapa de solos do Estado de Minas Gerais. **Universidade Federal de Viçosa**, p. 49, 2010.

VALERIANO, M. DE M.; SANCHES, I. D. A.; FORMAGGIO, A. R. Topographic effect on spectral vegetation indices from Landsat TM data: is topographic correction necessary? **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 1, p. 95–107, 2016.

VASCONCELOS, R. S. et al. MODELO DE TRANSMISSIVIDADE ATMOSFÉRICA PARA O SERTÃO PERNAMBUCANO. **REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA**, v. 35, n. 4, p. 765–784, 2017.

VELOSO, G. A. et al. Determinação do albedo de superfície em áreas irrigadas do projeto Jaíba (Minas Gerais), mediante imagens landsat 5-TM. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 35, p. 126–146, 2016.

VELOSO, G. A. et al. Modelling gross primary productivity in tropical savanna pasturelands for livestock intensification in Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 17, p. 100288, 2020.

VELOSO, G. A.; FERREIRA, M. E.; DA SILVA, B. B. Determinação da evapotranspiração

real diária em áreas irrigadas do projeto Jaíba (Minas Gerais, Brasil), mediante imagens Landsat 5-TM. **Cerrados**, v. 15, n. 1, p. 53–76, 2017.

VELOSO, G. A.; SILVA, L. A. P. DA; FERREIRA, M. E. Análise Do Balanço De Radiação E Energia Em Áreas De Veredas No Norte De Minas Gerais, Bioma Cerrado. **Revista Cerrados**, v. 18, n. 1, p. 220–247, 2020.

WALTER, B. M. T. et al. Fitofisionomias do Cerrado: classificação, métodos e amostragens fitossociológicas. **Eisenlohr, PV, Felfili, JM, Melo, MM da RF de, Andrade, LA de, Neto, JAAM (Eds.), FITOSSOCIOLOGIA NO BRASIL**, v. 2, p. 183–2012, 2015.

WANG, X. et al. Energy fluxes and evapotranspiration over irrigated maize field in an arid area with shallow groundwater. **Agricultural Water Management**, v. 228, p. 105922, 2020.

XU, D.; AN, D.; GUO, X. The Impact of Non-Photosynthetic Vegetation on LAI Estimation by NDVI in Mixed Grassland. **Remote Sensing**, v. 12, n. 12, p. 1979, 2020.

ZHOU, M. et al. Estimation of surface albedo from meteorological observations across China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 281, p. 107848, 2020.