

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**

# **METEOROLOGIA**



## **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Ataíde Bento de Lucena Netto**

**Impactos das mudanças no uso do solo do Cerrado  
baiano em variáveis biofísicas do balanço de  
radiação por Sensoriamento Remoto**

**Campina Grande (PB), Setembro de 2021**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS - UACA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA - PPGMET**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS NO USO DO SOLO DO CERRADO BAIANO EM  
VARIÁVEIS BIOFÍSICAS DO BALANÇO DE RADIAÇÃO POR SENSORIAMENTO  
REMOTO**

**ATAÍDE BENTO DE LUCENA NETTO**

**CAMPINA GRANDE (PB)**

**Setembro – 2021**

**ATAÍDE BENTO DE LUCENA NETTO**

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS NO USO DO SOLO DO CERRADO BAIANO EM  
VARIÁVEIS BIOFÍSICAS DO BALANÇO DE RADIAÇÃO POR SENSORIAMENTO  
REMOTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Meteorologia, da Universidade Federal de Campina  
Grande, em cumprimento às exigências para a obtenção  
do título de Mestre em Meteorologia.

**Orientador:** Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva

**Áreas de concentração:** Agrometeorologia e Micrometeorologia

**Subárea:** Sensoriamento Remoto Aplicado

**CAMPINA GRANDE (PB)**

**Setembro - 2021**

L935i

Lucena Netto, Ataíde Bento de.

Impactos das mudanças no uso do solo do Cerrado baiano em variáveis biofísicas do balanço de radiação por sensoriamento remoto / Ataíde Bento de Lucena Netto. - Campina Grande, 2021.

83f. : il. Color

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.

"Orientação: Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva".

Referências.

1. Mudanças Climáticas. 2. Temperatura da Superfície. 3. Saldo de Radiação. 4. Albedo. I. Silva, Bernardo Barbosa da. II. Título.

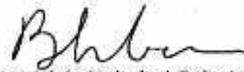
CDU 551.583(043)

ATAÍDE BENTO DE LUCENA NETTO

IMPACTOS DAS MUDANÇAS NO USO DO SOLO DO CERRADO BAIANO EM  
VARIÁVEIS BIOFÍSICAS DO BALANÇO DE RADIAÇÃO POR  
SENSORIAMENTO REMOTO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 30/09/2021

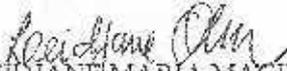
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Profa. Dra. LEIDIANE MARIA MACIEL DE OLIVEIRA  
Centro de Tecnologia e Geociências  
Universidade Federal de Pernambuco



Dr. JULIO MANNUEL TAVARES DINIZ  
Marinha do Brasil

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este maravilhoso projeto, primeiramente ao Deus todo poderoso, criador do céu e da terra, que durante esta salutar trajetória que me ungiu de forças, fé, paciência, esperança, perseverança para concluir esse tão esperado trabalho. Aos meus pais, José Ataimar da Nóbrega Lucena e Dulcinete Santa Cruz Lucena, a minha irmã Ataimara Santa Cruz Lucena, a minha sobrinha Júlia Lucena Luna e ao meu amigo Dr. Júlio Mannuel Tavares Diniz que me incentivaram durante essa jornada. Ao meu orientador Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva pelo apoio e pelas instruções, que contribuiu para o meu aprendizado e crescimento, não só profissional, mas como pessoa durante todo este tempo do Mestrado.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo sucesso de mais uma etapa vivida, pelas quedas e forças para levantar; pelos fracassos e conquistas, pela oportunidade de alcançar mais um degrau e mais os conhecimentos dos processos evolutivos da área da Meteorologia.

Ainda não poderia deixar de expressar os meus sinceros agradecimentos ao Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva, orientador deste Trabalho de Dissertação, que com sua dedicação, eficiência, ética e espírito humanitário, muito colaborou dando orientações, ideias e conselhos no decorrer destes dois anos e com a conclusão deste documento.

Também agradeço aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Carlos Antônio Costa dos Santos, Prof. Dra. Leidjane Maria Maciel de Oliveira e Dr. Júlio Mannuel Tavares Diniz, por aceitarem o convite de participar da minha defesa de dissertação.

Também sou grato aos meus pais, a minha irmã, a minha sobrinha e a minha namorada pelo apoio e incentivo, dando-me mais segurança e força para enfrentar os desafios a mim impostos e desse modo, concluir o curso de mestrado em Meteorologia.

Quanto à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), o meu muito obrigado, pelo salutar convívio de dois anos, entre corpo docente, discente e funcionários. Na oportunidade, quero ressaltar a pontualidade e abnegação dos professores do Programa de Pós-graduação em Meteorologia (PPGMET), com vistas a oferecer aos seus alunos um curso de qualidade e manter a Universidade como referência na formação de mestre em Meteorologia no Brasil.

Sou muito agradecido ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico), pelos recursos financeiros concedidos em forma de bolsa de estudo durante todo o curso.

Por fim, mais uma vez agradeço a Deus pela conquista e peço-lhe sabedoria para que eu possa exercer o título de mestre em Meteorologia pela UFCG com critério, compromisso, racionalidade e ética, procurando, dessa maneira, contribuir com a educação e o desenvolvimento de nosso país.

## RESUMO

O Cerrado brasileiro tem sido submetido a profundas mudanças no uso e ocupação do solo, com consequências ambientais que precisam ser investigadas adequadamente. Nesta pesquisa foram avaliados os impactos que as mudanças no uso e ocupação do solo estão promovendo em variáveis biofísicas envolvidas no balanço de radiação a superfície, no Cerrado do estado da Bahia, e em variáveis meteorológicas. A área de estudo possui 14.503,3 km<sup>2</sup>, parte considerável tem sido usada para a produção agrícola. Foram usadas imagens TM - Landsat 5 e OLI/TIRS – Landsat 8, dos anos de 1984 a 2010 e 2019, respectivamente, para a geração de mapas temáticos de variáveis biofísicas do balanço de radiação, complementados com dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram elaborados scripts no Model Maker, do Erdas 9.1, para calcular o albedo, índices de vegetação (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI, Índice de Área Foliar - IAF, Índice de Vegetação por ajuste do solo - SAVI e Fração de Cobertura Vegetal - FCV), temperatura da superfície – T<sub>sup</sub> (°C), radiação de onda longa emitida pela superfície – R<sub>l,emi</sub> (W/m<sup>2</sup>) e saldo de radiação – R<sub>n</sub> (W/m<sup>2</sup>). As imagens de entrada no Model Maker, tanto do TM quanto do OLI/TIRS, foram obtidas no Google Earth Engine. Foram empregados testes estatísticos para se avaliar se há diferença significativa entre a média do albedo, NDVI, T<sub>sup</sub> e R<sub>n</sub> de sete pequenos recortes (plots), e também se os coeficientes de correlação dos dados de temperatura do ar máxima e mínima diárias e ETo diferiam significativamente de zero. Os resultados evidenciam que a substituição da vegetação primária por áreas agrícolas e/ou de pastagens tem modificado os padrões e valores do NDVI, albedo, temperatura da superfície, emitância radiante da superfície e saldo de radiação. O saldo de radiação no mês de setembro de 1984 atingiu nas áreas com maior densidade vegetativa valores acima de 580 W/m<sup>2</sup>, enquanto que nas áreas já antropizadas houve redução significativa nos valores de R<sub>n</sub>, ao tempo em que a T<sub>sup</sub> se mostrou superior em relação a áreas não antropizadas, tanto intra e inter imagens. Os maiores valores do R<sub>n</sub> foram observados em fevereiro nas áreas não antropizadas, mas também em pivôs com NDVI superiores a 0,80. Fica evidenciado que embora em alguns meses do ano as áreas com pivôs exibiram elevadíssimos valores de NDVI e R<sub>n</sub>, e baixos valores de albedo e T<sub>sup</sub>, na maioria dos meses do ano essas áreas apresentam padrões opostos, com acentuada variabilidade, em especial no NDVI, T<sub>sup</sub> e R<sub>n</sub>. As séries temporais da T<sub>a,máx</sub> e T<sub>a,min</sub> diárias e ETo apresentaram no período 1980 a 2020 tendência de aumento, com coeficiente de correlação amostral diferindo significativamente de zero, segundo o teste t de Student. A principal conclusão do estudo é a de que as mudanças no uso e ocupação do solo na área de estudo pode ser apontada como a principal responsável pelas tendências de aumento na temperatura do ar localmente.

**Palavras-chave:** saldo de radiação, albedo, temperatura da superfície e mudanças climáticas.

## ABSTRACT

The Brazilian Cerrado has been subjected to profound changes in land use and occupation, with environmental consequences that need to be properly investigated. This research evaluated the impacts that changes in land use and occupation have been produced on biophysical variables involved in the radiation balance at surface, in the Cerrado of the state of Bahia, and on meteorological variables. The study area has 14,503.3 km<sup>2</sup>, a considerable part of them has been used for agricultural production. TM - Landsat 5 and OLI/TIRS - Landsat 8 images, from the years 1984 to 2010 and 2019, respectively, were used to generate thematic maps of biophysical variables of the radiation balance, complemented with meteorological data from the National Institute of Meteorology (INMET). Scripts were created in the Erdas 9.1 Model Maker to calculate the albedo, vegetation indices (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI, Leaf Area Index - IAF, Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI and Vegetation Cover Fraction - FCV), land surface temperature -  $T_{sup}$  (°C), long-wave radiation emitted by the surface -  $R_{ol,emi}$  (W/m<sup>2</sup>) and net radiation -  $R_n$  (W/m<sup>2</sup>). The input images in Model Maker, both from TM and from OLI/TIRS, were obtained from the Google Earth Engine. Statistical tests were used to assess whether there is a significant difference between the mean albedo, NDVI,  $T_{sup}$  and  $R_n$  of seven small plots, and also whether the correlation coefficients of the daily maximum and minimum air temperature and  $E_{To}$  data differed significantly from zero. The results show that the replacement of primary vegetation by agricultural and/or pasture areas has modified the patterns and values of NDVI, albedo, surface temperature, surface radiant emittance and radiation balance. The balance of radiation in september 1984 reached values above 580 W/m<sup>2</sup> in areas with higher vegetative density, while in areas already anthropized there was a significant reduction in the values of  $R_n$ , while the  $T_{sup}$  was superior in relation to the non-anthropized areas, both intra and inter images. The highest values of  $R_n$  were observed in February in the non-anthropized areas, but also in pivots with NDVI above 0.80. It is evident that although in some months of the year the areas with pivots exhibited very high values of NDVI and  $R_n$ , and low values of albedo and  $T_{sup}$ , in most months of the year these areas show opposite patterns, with marked variability, especially in the NDVI,  $T_{sup}$  and  $R_n$ . The time series of daily  $T_{a,max}$  and  $T_{a,min}$  and  $E_{To}$  showed an increasing trend in the period 1980 to 2020, with a sample correlation coefficient significantly different from zero, according to the Student's t test. The main conclusion of the study is that the changes in land use and occupation in the study area can be identified as the main responsible for the trends of increase in air temperature locally.

**Key words:** net radiation, albedo, land surface temperature, climate change.

## LISTA DE ABREVIACÕES

- BAR** – Barreiras (BA)
- BDMET** – Banco de dados Meteorológicos
- DOA** - Dia de Ordem do Ano
- EMA** - Estação Meteorológica Automática
- EMBRAPA** - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- FCV** - Fração de Cobertura Vegetal
- IAF** - Índice de Área Foliar
- INMET** – Instituto Nacional de Meteorologia
- INPE** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- LANDSAT** - Land Remote Sensing Satellite
- LEM** – Luís Eduardo Magalhães (BA)
- LST** - Land Surface Temperature
- MATOPIBA** - Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
- MODIS** - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
- NDVI** - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
- NE** – Nordeste
- NO** – Noroeste
- OLI** – Operational Terra Imager
- OMM** – Organização Meteorológica Mundial
- R<sup>2</sup>** - Coeficiente de determinação
- SATVeg** - Sistema de Análise Temporal da Vegetação da Embrapa
- SAVI** - Índice de Vegetação por ajuste do Solo
- SE** – Sudeste
- SEBAL** - Surface Energy Balance Algorithms for Land
- SO** - Sudoeste
- SR** - Sensoriamento Remoto
- TIRS** – Thermal Infrared Sensor
- TM** - Thematic Mapper
- USGS** - United States Geological Survey

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado	Unidade
Add <sub>b</sub>	Aditivo do grupo radiométrico reescalado	adimensional
cos Z	cosseno do ângulo zenital do Sol	Graus
dr	Correção da excentricidade da órbita terrestre	adimensional
dTS	Distância Terra – Sol	Unidade astronômica
E	ângulo de elevação do Sol	Graus
e <sub>a</sub>	Pressão parcial do vapor d'água atmosférico	Pa
ET <sub>o</sub>	Evapotranspiração de referência	mm
ε <sub>NB</sub>	Emissividade da superfície da banda termal	adimensional
ε <sub>o</sub>	emissividade da superfície	adimensional
Evapo	Evapotranspiração potencial mensal média	mm
H <sub>o</sub>	Hipótese Nula	adimensional
K1 e K2	Constantes de radiação específicas da banda 10 do TIRS	adimensional
k <sub>t</sub>	Coefficiente de turbidez da atmosfera	adimensional
L <sub>min</sub>	Radiância mínima	W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> μm <sup>-1</sup>
L <sub>máx</sub>	Radiância máxima	W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> μm <sup>-1</sup>
Mult <sub>b</sub>	Multiplicativo do grupo radiométrico reescalado	adimensional
n	insolação diária média mensal	hora
NC <sub>b</sub>	Intensidade de cada pixel da b-ésima banda	adimensional
p <sub>o</sub>	Pressão atmosférica média mensal	hPa
P <sub>o</sub>	Pressão atmosférica local	kPa
P <sub>nm</sub>	Pressão atmosférica reduzida ao nível médio do mar	kPa

Roc,inc	Radiação de onda curta incidente	W/m <sup>2</sup>
Rol,atm	Radiação de onda longa atmosférica	W/m <sup>2</sup>
Rol,emi	Radiação de onda longa emitida	W/m <sup>2</sup>
Rn	Saldo de Radiação	W/m <sup>2</sup>
r1, r2, r3, r4, r5, r6 e r7	Refletividades das bandas de 2 a 7	adimensional
R <sup>2</sup>	Coeficiente de determinação	adimensional
r <sub>ivp</sub> e r <sub>ver</sub>	Refletividades do infravermelho próximo e vermelho	adimensional
So	Constante solar	1367,0 W/m <sup>2</sup>
sen	Seno do ângulo de elevação do Sol	Graus
Ta	Temperatura do ar	°C
Tb	Temperatura de brilho	K
Ta,máx	Temperatura do ar máxima diária	°C
Ta,min	Temperatura do ar mínima diária	°C
Tméd	Temperatura média	°C
Tsup	Temperatura da superfície	°C
T <sub>a,2m</sub>	Temperatura do ar medida a 2 m da superfície	K
k <sub>t</sub>	Coeficiente de turbidez da atmosfera	adimensional
τ	Transmitância atmosférica na banda termal	adimensional
τ <sub>oc</sub>	Transmissividade atmosférica no domínio da radiação solar	adimensional
UR	Umidade relativa	%
URmáx	Umidade relativa máxima	%
URmin	Umidade relativa mínima	%
W	Água precipitável	mm
X <sub>1</sub> e X <sub>2</sub>	Médias das duas amostras	adimensional
Z	Variável da distribuição normal	adimensional
α	Albedo	adimensional

$\alpha_{toa}$	Albedo obtido no topo da atmosfera	adimensional
$\alpha_{atm}$	Albedo da radiação solar média refletida pela atmosfera	adimensional
$\sigma_{x1}$ e $\sigma_{x2}$	Desvios padrão	adimensional

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1</b> - Componentes de onda curta (radiação solar incidente e refletida) e de onda longa (emitida pela atmosfera e refletida pela superfície) do balanço de radiação à superfície	5
<b>Figura 4.1</b> – Expansão das áreas agrícolas (em azul) no município de Luís Eduardo Magalhães (BA) verificada entre os anos de 1985 e 2019, segundo o Mapbiomas (2019).....	8
<b>Figura 4.2</b> - Representação das etapas do processo de contabilização dos diferentes mapas temáticos integrantes do balanço de radiação com imagens Landsat .....	11
<b>Figura 4.3</b> – Área de estudo em representação falsa cor RGB432 (sistema de coordenadas: UTM zona 23, datum WGS84) do TM – Landsat 5 de 24 de setembro de 1984 (superior) e RGB543 do OLI – Landsat 8 (inferior) obtida em 21 de setembro de 2019 com inclusão dos plots selecionados para análise posterior,.....	17
<b>Figura 5.1</b> – Precipitação pluviométrica mensal (mm) das normais e do ano de 2019, gerada pelo CHIRPS.....	19
<b>Figura 5.2</b> – Valores da radiação solar incidente, radiação de onda longa atmosférica e temperatura do ar (°C) usados por ocasião da determinação do balanço de radiação das imagens selecionadas.....	20
<b>Figura 5.3</b> – Umidade do solo (mm) em sete plots obtidos pelo TerraClimate no ano de 2019.....	21
<b>Figura 5.4</b> – Mapas temáticos do albedo obtidos com imagens Landsat 5 nas datas 24 de setembro de 1984, 21 de fevereiro de 1993 e 16 de setembro de 2010.....	23
<b>Figura 5.5</b> – Mapas temáticos do albedo obtidos com imagens Landsat 8 nas datas 21 de junho, 07 de julho e 08 de agosto de 2019.....	24
<b>Figura 5.6</b> – Mapas temáticos do albedo obtidos com imagens Landsat 8 nas datas 11 de outubro, 12 de novembro e 14 de dezembro de 2019.....	25
<b>Figura 5.7</b> – Mapas temáticos do NDVI obtidos com imagens Landsat 5 nas datas de 24 de setembro de 1984, 21 de fevereiro de 1993 e 16 de setembro de 2010.....	27
<b>Figura 5.8</b> – Mapas temáticos do NDVI obtidos com imagens Landsat 8 nas datas 21 de junho, 07 de julho e 08 de agosto de 2019.....	28
<b>Figura 5.9</b> – Mapas temáticos do NDVI obtidos com imagens Landsat 8 nas datas 11 de outubro, 12 de novembro e 14 de dezembro de 2019.....	29
<b>Figura 5.10</b> – Mapas temáticos da LST (°C) obtidos com imagens Landsat 5 nas datas de 24 de setembro de 1984, 21 de fevereiro de 1993 e 16 de setembro de 2010.....	32

<b>Figura 5.11</b> – Mapas temáticos da LST (°C) obtidos com imagens Landsat 8 nas datas 21 de junho, 07 de julho e 08 de agosto de 2019.....	33
<b>Figura 5.12</b> – Mapas temáticos da LST (°C) obtidos com imagens Landsat 8 nas datas 11 de outubro, 12 de novembro e 14 de dezembro de 2019.....	34
<b>Figura 5.13</b> – Mapas temáticos do saldo de radiação - Rn (W/m <sup>2</sup> ) obtidos com imagens Landsat 5 nas datas 24 de setembro de 1984, 21 de fevereiro de 1993 e 16 de setembro de 2010.....	36
<b>Figura 5.14</b> – Mapas temáticos do saldo de radiação - Rn (W/m <sup>2</sup> ) obtidos com imagens Landsat 8 nas datas 21 de junho, 07 de julho e 08 agosto de 2019.....	37
<b>Figura 5.15</b> – Mapas temáticos do saldo de radiação - Rn (W/m <sup>2</sup> ) obtidos com imagens Landsat 8 nas datas 11 de outubro, 12 de novembro e 14 de dezembro de 2019.....	38
<b>Figura 5.16</b> – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m <sup>2</sup> ) e temperatura da superfície – LST (°C) no plot <b>Nordeste</b> , obtidos com imagens Landsat 5.....	40
<b>Figura 5.17</b> – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m <sup>2</sup> ) e temperatura da superfície – LST (°C) no plot <b>Noroeste</b> , obtidos com imagens Landsat 5.....	41
<b>Figura 5.18</b> – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m <sup>2</sup> ) e temperatura da superfície – LST (°C) no plot <b>Barreiras (BA)</b> , obtidos com imagens Landsat 5.....	42
<b>Figura 5.19</b> – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m <sup>2</sup> ) e temperatura da superfície – LST (°C) no plot <b>Luís Eduardo Magalhães (BA)</b> , obtidos com imagens Landsat 5.....	43
<b>Figura 5.20</b> – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m <sup>2</sup> ) e temperatura da superfície – LST (°C) no plot <b>Sudoeste</b> , obtidos com imagens Landsat 5.....	44
<b>Figura 5.21</b> – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m <sup>2</sup> ) e temperatura da superfície – LST (°C) no plot <b>Pivô</b> , obtidos com imagens Landsat 5.....	45
<b>Figura 5.22</b> – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m <sup>2</sup> ) e temperatura da superfície – LST (°C) no plot <b>Sudeste</b> , obtidos com imagens Landsat 5.....	46

<b>Figura 5.23</b> - Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m <sup>2</sup> ) e temperatura da superfície - LST (°C) no plot <b>Nordeste</b> , obtidos com imagens Landsat 8.....	48
<b>Figura 5.24</b> - Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m <sup>2</sup> ) e temperatura da superfície - LST (°C) no plot <b>Noroeste</b> obtidos com imagens Landsat 8.....	49
<b>Figura 5.25</b> - Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI saldo de radiação - Rn (W/m <sup>2</sup> ) e temperatura da superfície - LST (°C) no plot <b>Barreiras (BA)</b> obtidos com imagens Landsat 8.....	50
<b>Figura 5.26</b> - Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m <sup>2</sup> ) e temperatura da superfície - LST (°C) no plot <b>Luís Eduardo Magalhães (BA)</b> obtidos com imagens Landsat 8.....	51
<b>Figura 5.27</b> - Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m <sup>2</sup> ) e temperatura da superfície - LST (°C) no plot <b>Sudoeste</b> , obtidos com imagens Landsat 8.....	52
<b>Figura 5.28</b> - Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m <sup>2</sup> ) e temperatura da superfície - LST (°C) no plot <b>Pivô</b> obtidas com imagens Landsat 8.....	53
<b>Figura 5.29</b> - Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m <sup>2</sup> ) e temperatura da superfície - LST (°C) no plot <b>Sudeste</b> obtidas com imagens Landsat 8.....	54
<b>Figura 5.30</b> – Evolução da média espacial do albedo de cada um dos sete plots ao longo do período estudado – 1984 à 2019.....	57
<b>Figura 5.31</b> - Evolução da média espacial do NDVI de cada um dos sete plots ao longo do período estudado – 1984 à 2019.....	58
<b>Figura 5.32</b> - Evolução da média espacial da temperatura da superfície - LST (°C) de cada um dos sete plots ao longo do período estudado - 1984 à 2019.....	59
<b>Figura 5.33</b> - Evolução da média espacial do saldo de radiação – Rn (W/m <sup>2</sup> ) de cada um dos sete plots ao longo do período estudado - 1984 à 2019.....	60
<b>Figura 5.34</b> – Série temporal do NDVI de cada plot com a correspondente linha de tendência.....	70
<b>Figura 5.35</b> – Evolução da temperatura do ar máxima e mínima diárias (°C) e da evapotranspiração de referência mensal (mm) em <b>Barreiras (BA)</b> no período de 1980 à 2019.....	72

<b>Figura 5.36</b> – Evolução da temperatura do ar máxima e mínima diárias (°C) e da evapotranspiração de referência mensal (mm) em <b>Luís Eduardo Magalhães (BA)</b> no período de 1980 à 2019.....	73
<b>Figura 5.37</b> - Evolução da temperatura do ar máxima e mínima diárias (°C) e da evapotranspiração de referência mensal (mm) no plot <b>Nordeste</b> no período de 1980 à 2019	74
<b>Figura 5.38</b> – Evolução da temperatura do ar máxima e mínima diárias (°C) e da evapotranspiração de referência mensal (mm) no plot <b>Noroeste</b> no período de 1980 à 2019	75
<b>Figura 5.39</b> – Evolução da temperatura do ar máxima e mínima diárias (°C) e da evapotranspiração de referência mensal (mm) no plot <b>Sudeste</b> no período de 1980 à 2019	76
<b>Figura 5.40</b> – Evolução da temperatura do ar máxima e mínima diárias (°C) e da evapotranspiração de referência mensal (mm) no plot <b>Sudoeste</b> no período de 1980 à 2019	77
<b>Figura 5.41</b> – Evolução da temperatura do ar máxima e mínima diárias (°C) e da evapotranspiração de referência mensal (mm) no plot <b>Pivô</b> no período de 1980 à 2019.....	78

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 4.1** - Dados climatológicos de Barreiras – BA, extraídos das Normais Climatológicas do período 1980-2010: T<sub>máx</sub> (°C), T<sub>min</sub> (°C), T<sub>méd</sub> (°C), UR<sub>min</sub> (%), UR<sub>máx</sub> (%), insolação diária média mensal – n (hora), precipitação mensal média - Pr (mm), evapotranspiração potencial mensal média – Evapo (mm) e pressão atmosférica média mensal - po (hPa) (Fonte: Normais climatológicas do INMET – 1980-2010) 9

**Tabela 4.2** - Datas das imagens OLI/TIRS – Landsat 8, órbita e ponto 220 x 068, selecionadas para o estudo, Dia de Ordem do Ano (DOA), hora de geração da imagem - Hora, Ângulo de elevação do Sol - E (graus), Distância Terra-Sol no dia de cada imagem – dTS (adimensional), Seno do ângulo de elevação do Sol – sen (E), Temperatura do ar - Ta (°C), Pressão atmosférica – Pa (hPa) e Umidade relativa – UR (%) próximos ao instante de geração da imagem medidos na EMA de Barreiras (BA) 10

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Série de Satélites Landsat.....	4
<b>Quadro 5.1</b> – Resultado do teste de hipótese de Diferença entre Médias ao se comparar o plot Nordeste com os demais para o albedo e FCV.....	63
<b>Quadro 5.2</b> – Resultado do teste de hipótese de Diferença entre Médias ao se comparar o plot Nordeste com os demais para o NDVI e Rol,emi.....	64
<b>Quadro 5.3</b> – Resultado do teste de hipótese de Diferença entre Médias ao se comparar o plot Nordeste com os demais para o Saldo e Tsup.....	65
<b>Quadro 5.4</b> – Resultado do teste de hipótese de Diferença entre Médias ao se comparar o plot Nordeste com os demais para o albedo e FCV.....	66
<b>Quadro 5.5</b> – Resultado do teste de hipótese de Diferença entre Médias ao se comparar o plot Nordeste com os demais para o NDVI e Rol,emi.....	67
<b>Quadro 5.6</b> – Resultado do teste de hipótese de Diferença entre Médias ao se comparar o plot Nordeste com os demais para o Saldo e Tsup.....	68

## SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO .....	1
2 - OBJETIVOS DA PESQUISA .....	2
2.1 – Objetivo Geral.....	2
2.2 – Objetivos específicos .....	2
3 – FUNDAMENTAÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1 – Programa Landsat .....	3
3.2 – Componentes do balanço de radiação .....	5
3.3 – Pesquisas com saldo de radiação por sensoriamento remoto.....	5
4 – MATERIAL E MÉTODOS .....	8
4.1 – Área de estudo.....	8
4.2 – Dados meteorológicos.....	9
4.3 – Imagens de satélite .....	10
4.4 – Parâmetros biofísicos investigados .....	10
4.5 – Determinação do saldo de radiação .....	11
4.5.1 - Obtenção da radiação de onda curta incidente .....	12
4.5.2 – Determinação do albedo superficial.....	12
4.5.3 – Determinação das radiações de onda longa .....	13
4.5.4 – Determinação da temperatura da superfície com correção atmosférica.....	14
4.5.5 – Determinação das emissividades .....	15
4.5.6 - Determinação dos índices de vegetação .....	15
4.5.7 – Avaliação das diferenças entre os recortes selecionados .....	16
4.5.8 – Procedimentos computacionais para geração dos mapas temáticos .....	16
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
5.1 – Análise dos mapas temáticos de componentes biofísicas do balanço de radiação .....	19
5.2 - Evolução dos mapas temáticos das variáveis selecionadas nos plots selecionados .....	40
5.3 – Representação da média espacial das variáveis estudadas entre 1984 a 2019.....	55
5.4 – Análise estatística da diferença entre as médias de cada plot .....	60
5.5 – Análise das séries temporais do NDVI .....	69
5.6 – Evolução das temperaturas máxima e mínima diárias e evapotranspiração de referência.....	71
6 - CONCLUSÕES .....	79
7 – REFERÊNCIAS BIBLOGRÁFICAS .....	80

## 1 – INTRODUÇÃO

Dada a sua dimensão territorial, a diversidade de tipos climáticos, de solos e topografia, o Brasil é detentor de seis grandes biomas, cada um dos quais possuidor de uma grande biodiversidade e muitas especificidades, quais sejam: Amazônia, Cerrado, Caatinga, Pantanal, Mata Atlântica e Pampas. Todos esses biomas, em maior ou menor grau, sofrem de vários problemas decorrentes de sua ocupação, tais como aumento da temperatura da superfície e albedo que acentua, de forma ainda não bem conhecida, as mudanças climáticas decorrentes das emissões de gases promotores do efeito estufa (GEE) (IPCC, 2007).

A região Nordeste do Brasil (NEB) é conhecida por parte importante da comunidade científica mundial pela ocorrência de secas que se abatem, com acentuada frequência, sobre grandes extensões do seu território, com cerca de 1,5 milhão de km<sup>2</sup>. A mais recente delas teve início em 2012 e se estendeu até 2017 (MARENGO *et al.*, 2020). A maior parte do seu território pertence ao bioma Caatinga, que se encontra muito antropizado, mas alguns estados dessa região possuem grandes extensões de áreas sob o domínio do bioma Cerrado, caso dos estados do Maranhão, Piauí e Bahia. Esses três estados nordestinos se associam, com áreas do Tocantins, para compor uma região que tem se notabilizado pela produção de grãos, mais especificamente, de soja, cuja denominação compõe o MATOPIBA.

Embora a maior parte do território do estado da Bahia faça parte do bioma Caatinga, com marcante característica semiárida, a sua porção mais ocidental integra uma parte importante do Cerrado brasileiro, exatamente aquela região que faz parte do MATOPIBA. De acordo com o IBGE (2019), o estado do Tocantins é o que contribui com a maior fatia territorial dessa fronteira agrícola, emprestando quase 28 milhões de ha do seu território, seguido do Maranhão com quase 24 milhões de ha; na sequência vem a Bahia, com pouco mais de 13 milhões de ha e, por último, o Piauí, que contribui com 8,2 milhões de ha.

Nessa região baiana, tem se registrado uma profunda mudança no uso e ocupação do solo, com impactos ambientais que precisam ser melhor investigados (MAPBIOMAS, 2021). Não obstante a grande importância social e econômica do agronegócio que ali prospera, se faz necessário avaliar sob o aspecto ambiental e climático, quais as implicações que essas transformações podem estar promovendo e em que escala espacial essas alterações já se fazem sentir.

Tanto a Caatinga quanto o Cerrado brasileiros, a exemplo dos outros biomas nacionais, enfrentam um agressivo processo de ocupação, em especial nos últimos 50 anos. Grandes extensões de terra desses dois biomas foram convertidas em áreas de pastagem e/ou de produção agrícola. No caso da Caatinga, há um agravante maior que se deve às suas características edafoclimáticas, e as

peculiaridades dos sistemas meteorológicos e oceânicos que atuam sobre essa região e que com recorrência produzem o fenômeno das secas, estudados mundialmente (MARKHAM, 1974; HASTENRATH & HELLER, 1977; MOURA & SHUKLAR, 1981; HASTENRATH & GREISCHAR, 1993; MARENGO *et al.*, 2017). Esses biomas são possuidores de uma grande biodiversidade e as leis ambientais de proteção dos biomas brasileiros constituem importante instrumento de defesa de tais áreas.

O sensoriamento remoto orbital tem sido usado em diversos estudos para avaliar mudanças no uso e ocupação do solo por meio do balanço de radiação no sistema solo-planta-atmosfera, tendo por base imagens de satélites com diferentes resoluções espacial e temporal, e também dados de reanálises (DIRMEYER *et al.*, 2010; GE, 2010; FALL *et al.*, 2010). Em princípio, todos os sensores a bordo de satélites que possibilitam a determinação do albedo da superfície e também da sua temperatura – LST (do inglês Land Surface Temperature), reúnem condições para se efetivar um balanço de radiação e também de energia à superfície terrestre (SILVA *et al.*, 2015; ALLEN *et al.*, 2017; FERREIRA *et al.*, 2020). Os impactos das mudanças no uso e ocupação de área central do Semiárido brasileiro foram investigados por Ferreira *et al.* (2020), em especial naquelas áreas que têm registrado a substituição da Caatinga por cultivos irrigados. Esse processo resultou em um aumento considerável no albedo da superfície (de até 3% maior) e redução da LST de até 5 °C.

Nesse sentido, a presente pesquisa considera a hipótese de que as mudanças no uso e ocupação do solo estão afetando as trocas de calor e massa entre a superfície e a camada limite planetária do Cerrado brasileiro e que algumas variáveis biofísicas já revelam essas alterações.

## **2 - OBJETIVOS DA PESQUISA**

### **2.1 – Objetivo Geral**

Avaliar os impactos que as mudanças no uso e ocupação do solo no Cerrado baiano, em particular nas áreas polarizadas pelos municípios de Luís Eduardo Magalhães (BA) e Barreiras (BA), estão causando nas trocas energéticas radiativas no sistema solo-planta-atmosfera.

### **2.2 – Objetivos específicos**

2.2.1 – Dimensionar as mudanças produzidas em componentes do balanço de radiação obtidas com imagens satelitárias, em especial na temperatura da superfície, albedo, saldo de radiação e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI.

2.2.2 – Avaliar se há indícios de mudanças na temperatura do ar tendo por base a análise do comportamento da série temporal das temperaturas do ar máxima –  $T_{a,máx}$  e mínima –  $T_{a,min}$

diárias, e da evapotranspiração de referência – ETo, obtidas pelo TerraClimate, via Google Earth Engine.

2.2.3 – Efetivar correção atmosférica para determinação da LST e avaliar o impacto produzido no saldo de radiação.

### **3 – FUNDAMENTAÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 – Programa Landsat**

Neste capítulo são apresentados os fundamentos que norteiam o balanço de radiação por meio de imagens satelitárias. Nesse sentido, a série de satélites Landsat e seus sensores geradores das imagens destinadas ao monitoramento do nosso planeta, será retratada na perspectiva histórica. Desde o lançamento do primeiro da série, ocorrido em 1972, à época chamado de Earth Resource Satellite – ERS e que fora mais tarde rebatizado de Landsat 1, já foram produzidas milhões de imagens que têm sido usadas por pesquisadores de todos os continentes. São, ainda, apresentados importantes artigos acadêmicos destinados a efetivar o balanço de radiação com imagens TM – Landsat 5, OLI/TIRS – Landsat 8 e Terra – MODIS em diferentes partes do Brasil e do mundo.

No Quadro 1 estão representadas todas as versões da série Landsat e os sensores que acompanhavam cada uma delas. Em todas as versões, a órbita executada pelos satélites é do tipo circular, polar e heliossíncrona. Uma análise mais detalhada da literatura revelará que na realidade esse tipo de órbita é rigorosamente quase-polar, heliossíncrona e elíptica. Pode-se destacar também a altura orbital, que nas versões iniciais era de 917 km e que a partir do Landsat 4 passou a 705 km, com pouca mudança na inclinação do plano orbital em relação ao plano do equador terrestre. A duração do período orbital passou de 103 min para 98 min, e essa alteração promoveu redução da resolução temporal, que era de 18 dias e passou a 16 dias. Uma outra característica importante das imagens geradas, diz respeito à resolução espacial, que com o Landsat 1 era de 80 m e que com o tempo foi refinada para 30 m, caso das bandas no domínio da radiação solar, bandas reflectivas, e que na banda termal evoluiu de 120 m para 60 m, caso do Landsat 7, mas que aumentou para 100 m na versão atual do Landsat 8. A resolução radiométrica foi a que registrou maiores alterações, não representadas no Quadro 1, que era de 6 bits nos sensores do Landsat 1 e 2, passando para 8 bits nos sensores embarcados nas versões 4, 5 e 7, passando para 12 bits no Landsat 8. Na versão atual, embora as imagens do OLI e TIRS sejam geradas em 12 bits, elas são distribuídas para todos os usuários do globo em 16 bits. Conforme o USGS, nas novas versões dos sensores OLI e TIRS - Landsat 9, projetado para ser posto em órbita em 2021, a resolução radiométrica será mais acurada, passando a 14 bits, mas que para os usuários será também distribuída em 16 bits.

**Quadro 1 – Série de satélites Landsat**

Missão	Land Remote Sensing Satellite (Landsat)						
Instituição Responsável	NASA (National Aeronautics and Space Administration)						
País/Região	Estados Unidos						
Satélite	LANDSAT 1	LANDSAT 2	LANDSAT 3	LANDSAT 4	LANDSAT 5	LANDSAT 6	LANDSAT 7
Lançamento	27/7/1972	22/1/1975	5/3/1978	16/7/1982	1/3/1984	5/10/1993	15/4/1999
Situação Atual	Inativo (06/01/1978)	Inativo (25/02/1982)	Inativo (31/03/1983)	Inativo (1993)	em atividade	Inativo (05/10/1993)	Inativo (2003)
Órbita	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	s. d.	Polar, Circular e heliossíncrona
Altitude	917 km	917 km	917 km	705 km	705 km	s. d.	705 km
Inclinação	99°	99°	99°	98,20°	98,20°	s. d.	98,3°
Tempo de Duração da Órbita	103,27 min	103,27 min	103,27 min	98,20 min	98,20 min	s. d.	98,9 min
Horário de Passagem	9:15 A.M.	9:15 A.M.	9:15 A.M.	9:45 A.M.	9:45 A.M.	s. d.	10:00 A.M.
Período de Revisita	18 dias	18 dias	18 dias	16 dias	16 dias	s. d.	16 dias
Instrumentos Sensores	RBV e MSS	RBV e MSS	RBV e MSS	MSS e TM	MSS e TM	ETM	ETM +

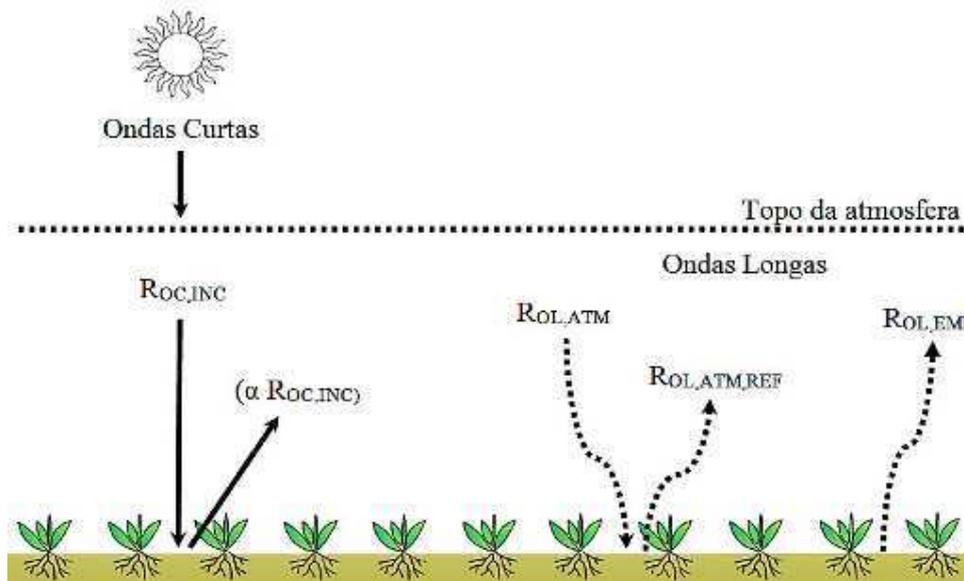
  

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Faixa Imageada
MSS	4	0,5 - 0,6 $\mu\text{m}$	80 m	18 dias	185 km
	5	0,6 - 0,7 $\mu\text{m}$			
	6	0,7 - 0,8 $\mu\text{m}$			
	7	0,8 - 1,1 $\mu\text{m}$			
	8 (somente para o Landsat 3)	10,4 - 12,6 $\mu\text{m}$	120 m		
TM	1	0,45 - 0,52 $\mu\text{m}$	30 m	16 dias	185 km
	2	0,50 - 0,60 $\mu\text{m}$			
	3	0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$			
	4	0,76 - 0,90 $\mu\text{m}$			
	5	1,55 - 1,75 $\mu\text{m}$			
	6	10,4 - 12,5 $\mu\text{m}$	120 m		
	7	2,08 - 2,35 $\mu\text{m}$	30 m		
ETM+	1	0,45 - 0,52 $\mu\text{m}$	30 m	16 dias	185 km
	2	0,50 - 0,60 $\mu\text{m}$			
	3	0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$			
	4	0,76 - 0,90 $\mu\text{m}$			
	5	1,55 - 1,75 $\mu\text{m}$			
	6	10,4 - 12,5 $\mu\text{m}$	60 m		
	7	2,08 - 2,35 $\mu\text{m}$	30 m		
	8	0,50 - 0,90 $\mu\text{m}$	15 m		

Fonte: Batistela et al. (2004)

### 3.2 – Componentes do balanço de radiação

O balanço de radiação pode ser considerado um processo em que são contabilizados os componentes de onda curta e onda longa que adentram e que deixam o sistema solo-vegetação-atmosfera, conforme ilustrado na Figura 3.1.



**Figura 3.1** – Componentes de onda curta (radiação solar incidente e refletida) e de onda longa (emitida pela atmosfera e refletida pela superfície) do balanço de radiação à superfície.

### 3.3 – Pesquisas com saldo de radiação por sensoriamento remoto

Uma variável importante e impulsionadora de inúmeros processos bio-físico-químico que ocorrem na biosfera é a radiação solar. A densidade de potência incidente sobre uma superfície horizontal, que de acordo com OMM é chamada de irradiância, tem no Sistema Internacional a unidade de medida denominada de  $W/m^2$ . A estimativa da irradiância solar sobre uma superfície horizontal é dada pelo produto entre a constante solar –  $S_0$  ( $1367,0 W/m^2$ ), o cosseno do ângulo zenital do Sol –  $\cos Z$ , a correção da excentricidade da órbita terrestre –  $d_r$  e a transmissividade atmosférica no domínio da radiação solar.

Já uma outra propriedade bastante relacionada com o saldo de radiação à superfície é o albedo, definido como igual à razão entre a irradiância solar incidente e a irradiância solar refletida pela superfície. São inúmeras as pesquisas sobre o albedo da superfície (Silva *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2014; Sousa *et al.*, 2014; Palácios *et al.*, 2015; Ferreira *et al.*, 2020) e vários sensores a bordo de satélites meteorológicos e ambientais medem a radiação solar em diferentes bandas espectrais, de modo a possibilitar a determinação do albedo.

O artigo pioneiro no Brasil, tratando do balanço de radiação por imagens, foi realizado por Silva *et al.* (2005), focando áreas irrigadas e de Caatinga no polo irrigado de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). De modo geral, o saldo de radiação (Rn) da cena como um todo em 2000, atingiu valor médio no horário da passagem do satélite igual a 615,0 W/m<sup>2</sup>, enquanto na mesma área em 2001 o Rn médio foi de 583,9 W/m<sup>2</sup>. Ficou evidenciada grande diferenciação no Rn, bem como no albedo e T<sub>sup</sub> entre os diferentes tipos de uso do solo. Silva *et al.* (2011) obtiveram as componentes do balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo - PB mediante imagens orbitais. Concluíram que nas áreas com cultivos irrigados o Rn se mostrava substancialmente superior aos obtidos em outros tipos de uso e ocupação. Em geral não se considera a inclinação dos pixels, no entanto, Di Pace *et al.* (2008) fizeram o mapeamento do saldo de radiação com imagens Landsat 5 e modelo de elevação digital e concluíram que havia pouca alteração nos valores do Rn ao se considerar a inclinação e aspecto dos pixels.

Santos *et al.* (2014) e também Oliveira & Moraes (2013) analisaram de forma comparativa o Rn a partir de imagens orbitais com dados de superfície medidos, e demais componentes do Rn, para dois diferentes tipos de cobertura vegetal (pastagem e floresta) sob condições de atmosfera tropical-úmida. Os resultados obtidos com as imagens MODIS apresentaram erro percentual (EP) máximo e mínimo coerentes de 3% e 0,02%, para o Rn em área de floresta e pastagem, respectivamente, e erros relativo de 10% e 0,7%, para as mesmas condições de cobertura do solo. Já Sousa *et al.* (2014) obtiveram os balanços de radiação e energia no perímetro irrigado Califórnia, no estado de Sergipe, com imagens TM – Landsat 5 de 2006. Nas áreas de menor cobertura vegetal o Rn atingiu valores inferiores a 300 W/m<sup>2</sup>, enquanto em corpos hídricos chegou a 700 W/m<sup>2</sup>. O foco da pesquisa, no entanto, era a determinação da evapotranspiração das parcelas irrigadas. Palácios *et al.* (2015) quantificaram o Rn em plantio de milho em área de Cerrado com imagens TM – Landsat 5 de abril e agosto de 2011, no município de Campo Verde – MT. Foram gerados mapas do saldo de radiação instantâneo e diário por meio do algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). Os valores obtidos de Rn instantâneo sobre a área de estudo foram 418 W/m<sup>2</sup> e 328 W/m<sup>2</sup>, enquanto para o Rn diário foram obtidos valores de 104 W/m<sup>2</sup> e 98 W/m<sup>2</sup>, respectivamente.

Em floresta de transição Amazônia-Cerrado, Marques (2016) determinou o saldo de radiação instantâneo e diário com base em imagens TM – Landsat 5 obtidas em 2005 e 2008. Os resultados foram validados com saldo radiômetros instalados na área de estudo. Obtiveram erro absoluto entre os valores instantâneos e diários respectivamente de 18,2 W/m<sup>2</sup> e 14,3 W/m<sup>2</sup>, com coeficiente amostral de Pearson de 0,938 e 0,604, respectivamente. Outra pesquisa em Cerrado foi realizada por Fausto *et al.* (2016), ocasião em que avaliaram o impacto no saldo de radiação em áreas de conversão de Cerrado em área agrária no sul do Mato Grosso, com imagens TM - Landsat 5 adquiridas entre junho e outubro de 2011. Concluíram que a substituição do Cerrado por culturas agrícolas no sul do

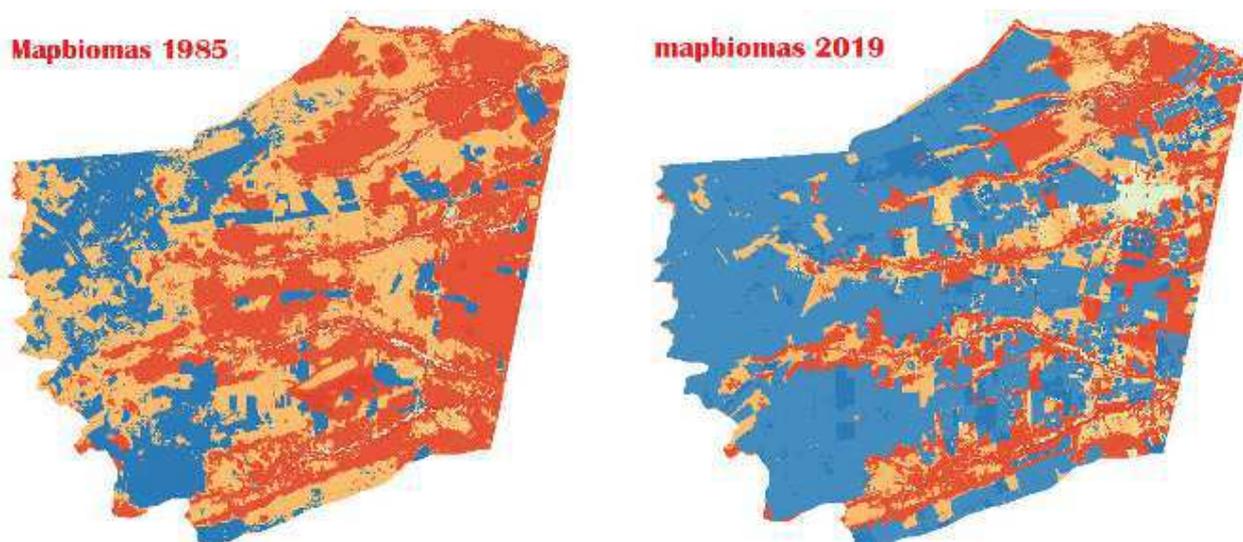
Mato Grosso diminuiu a energia disponível à superfície, indicado pelo saldo de radiação. Franco *et al.* (2016) mapearam as componentes dos balanços de radiação e energia com vistas a avaliar impactos que mudanças no uso e ocupação produziram em áreas agrícolas do noroeste do estado de São Paulo. Observaram aumento no saldo de radiação e consequente aumento no fluxo de calor latente nas áreas mais recentemente ocupadas com a cultura da cana-de-açúcar irrigada. Na linha de mudanças no uso e ocupação do solo, desta feita no Cerrado do sul do estado das Minas Gerais, Silva e Leite (2017) obtiveram o balanço de radiação com imagens TM – Landsat 5 do ano de 1985 e do OLI/TIRS – Landsat 8 do ano de 2016. Observaram que houve redução do saldo de radiação nas áreas de vegetação nativa que foram convertidas em pastagens e solo com baixa cobertura vegetal. Por outro lado, observaram que os maiores valores do  $R_n$  se mantiveram na vegetação nativa e cultivos recentes de eucalipto.

## 4 – MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa tem por base investigativa diferentes fontes de informações: a) imagens TM - Landsat 5 e OLI/TIRS - Landsat 8, obtidas no período de 1984 até 2019, inclusive, obtidas no site do USGS <https://earthexplorer.usgs.gov/>; b) dados meteorológicos das estações convencional e automática do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, localizadas em Barreiras-BA e Luís Eduardo Magalhães – BA (site: <https://portal.inmet.gov.br/>); c) séries temporais da temperatura do ar máxima e mínima diárias, e da evapotranspiração de referência, obtidas na plataforma Google Earth Engine (site: <https://earthengine.google.com/>); e séries temporais do NDVI obtidas no SATVeg - Sistema de Análise Temporal da Vegetação da Embrapa Informática Agropecuária (site: <https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/login.html> consultado em março de 2021).

### 4.1 – Área de estudo

A área de estudo faz parte do Cerrado brasileiro, mais especificamente da porção oeste do estado da Bahia e que integra a região denominada de MATOPIBA, acrônimo derivado da sigla dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Nessa região tem ocorrido uma grande expansão das áreas agrícolas, conforme pode ser observada na Figura 4.1, representativa desse processo no município de Luís Eduardo Magalhães (BA). Para a pesquisa foi selecionado um recorte espacial de áreas que incluíssem também a região polarizada por Barreiras (BA) o que resultou numa área total de quase 15.000 km<sup>2</sup>, conforme representação presente na Figura 4.3.



**Figura 4.1** - Expansão das áreas agrícolas (em azul) no município de Luís Eduardo Magalhães (BA) verificada entre os anos de 1985 e 2019, segundo o Mapbiomas (2019).

Na Tabela 4.1 estão representados dados climatológicos de Barreiras (BA), extraídos das Normais Climatológicas do INMET para o período 1980-2010. Destaque-se que os meses com precipitação média mensal superior a 50 mm compreendem o período outubro a abril. Desse modo, o quadrimestre relativamente mais seco vai de junho a setembro, impactando de alguma forma as temperaturas máximas diárias –  $T_{a,máx}$  (°C), que tem em setembro e outubro os dois meses mais quentes do ano. A insolação diária média mensal (hora) registra os valores mais elevados no período junho-julho-agosto, não obstante coincidirem com os meses com menor duração efetiva do dia (VAREJÃO-SILVA, 2005), enquanto os menores valores ocorrerem no período novembro a março, período com maior nebulosidade e ocorrência de chuvas. A evapotranspiração potencial mensal média (mm) apresenta os seus maiores valores nos meses com temperatura do ar média diária mais elevadas, quais sejam, setembro a dezembro.

**Tabela 4.1** - Dados climatológicos de Barreiras – BA, extraídos das Normais Climatológicas do período 1980-2010:  $T_{máx}$  (°C),  $T_{min}$  (°C),  $T_{méd}$  (°C),  $UR_{min}$  (%),  $UR_{máx}$  (%), insolação diária média mensal –  $n$  (hora), precipitação mensal média -  $Pr$  (mm), evapotranspiração potencial mensal média –  $Evapo$  (mm) e pressão atmosférica média mensal -  $po$  (hPa) (Fonte: Normais climatológicas do INMET – 1980-2010)

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
$T_{máx}$	31.70	31.60	31.30	31.90	32.30	32.00	32.30	33.70	35.50	35.50	32.80	31.70
$T_{min}$	20.90	20.90	20.80	20.30	18.40	15.90	15.00	15.80	18.90	21.30	21.40	21.00
$T_{méd}$	25.50	25.40	25.10	25.10	24.30	22.80	22.80	24.30	26.90	27.80	26.40	25.70
$UR_{min}$	41.0	43.5	58.5	46.8	48.0	40.5	36.0	28.8	25.8	21.8	23.8	35.3
$UR_{máx}$	98.8	99.3	98.3	96.8	92.5	94.0	78.0	84.5	100.0	96.5	100.0	97.3
$n$	6.70	6.54	6.44	7.37	8.26	8.51	9.09	9.02	8.43	7.59	6.22	6.34
$Pr$	164.6	126.8	154.9	74.5	23.7	3.6	1.0	1.3	10.4	65.6	173.3	203.7
$Evapo$	168.8	146.7	146.9	139.3	129.5	105.6	110.2	152.0	194.0	238.6	197.6	181.1
$po$	960.5	960.9	960.8	961.2	962.5	964.3	964.9	964.0	962.0	960.4	959.9	960.2

#### 4.2 – Dados meteorológicos

Para a efetivação do balanço de radiação com as imagens OLI/TIRS – Landsat 8, foram usados dados de temperatura do ar –  $T_a$  (°C), umidade relativa –  $UR$  (%) e pressão atmosférica –  $po$  (hPa) das EMAs - Estação Meteorológica Automática A402 e A404, de Barreiras (BA) e Luís Eduardo Magalhães (BA), respectivamente, no horário das 13h00 (TMG) para os dias de 2019 selecionados para a pesquisa. Já para as imagens TM – Landsat 5 foram usados os dados sinóticos disponíveis nas séries históricas do BDMET do INMET.

**Tabela 4.2.** Datas das imagens OLI/TIRS – Landsat 8 e Landsat 5 (TM), órbita e ponto 220 x 068, selecionadas para o estudo, Dia de Ordem do Ano (DOA), hora de geração da imagem - Hora, Ângulo de elevação do Sol - E (graus), Distância Terra-Sol no dia de cada imagem –  $d_{TS}$  (adimensional), Seno do ângulo de elevação do Sol – sen (E), Temperatura do ar -  $T_a$  (°C), Pressão atmosférica –  $P_a$  (hPa) e Umidade relativa – UR (%) próximos ao instante de geração da imagem medidos na EMA de Barreiras (BA)

Data	DOA	Hora	E	$d_{TS}$	Sen E	$T_a$	$P_a$	UR
24 Set 1984	267	12:37:28	54.7421	1.00192	0.81656	26.80	965.0	55.0
21 Fev 1993	52	12:29:19	49.7332	0.98984	0.76304	26.40	964.3	65.0
15 Set 1998	258	12:46:07	54.7093	1.00445	0.81623	28.50	965.2	40.0
17 Out 2004	290	12:51:54	62.0711	0.99548	0.88352	28.30	962.4	44.0
16 Set 2010	259	12:57:31	57.5147	1.00417	0.84352	24.90	968.0	50.0
13 Fev 2019	44	13:07:06	58.5488	0.98730	0.85308	29.80	959.7	57.0
05 Jun 2019	156	12:50:26	57.3736	0.98291	0.84220	24.7	963.9	57.0
21 Jun 2019	172	13:07:12	44.8983	1.01623	0.70585	26.3	965.9	53.0
07 Jul 2019	188	13:07:16	45.0495	1.01673	0.70771	27.0	963.6	49.0
23 Jul 2019	204	13:07:20	46.5958	1.01596	0.72652	32.5	964.3	33.0
08 Ago 2019	220	13:07:27	49.4235	1.01404	0.75953	29.8	964.3	38.0
09 Set 2019	252	13:07:35	57.5475	1.07290	0.84383	28.5	966.1	48.0
25 Set 2019	268	13:07:41	61.6619	1.00299	0.88016	28.9	963.6	44.0
11 Out 2019	284	13:07:44	64.7420	0.99835	0.90439	31.7	961.1	37.0
27 Out 2019	300	13:07:45	66.0694	0.99392	0.91403	33.3	960.5	31.0
12 Nov 2019	316	13:07:42	65.5283	0.98982	0.91016	34.2	956.8	30.0
14 Dez 2019	348	13:07:39	61.6892	0.98431	0.88038	32.3	960.1	37.0

### 4.3 – Imagens de satélite

Foram empregadas na pesquisa imagens TM – Landsat 5 e OLI/TIRS – Landsat 8, obtidas em dias com pouca ou total ausência de nebulosidade, por ocasião da passagem do Landsat 5, em 1984, 1993, 1998, 2004, 2010 (uma imagem em cada ano), e 2019 (doze imagens). Na Tabela 4.2 estão apresentados alguns metadados das imagens usadas no balanço de radiação, com algumas informações complementares.

### 4.4 – Parâmetros biofísicos investigados

Foram produzidos mapas temáticos de diferentes variáveis biofísicas envolvidas no balanço de radiação por satélite, quais sejam: albedo –  $\alpha$  (adimensional), índices de vegetação (Índice de

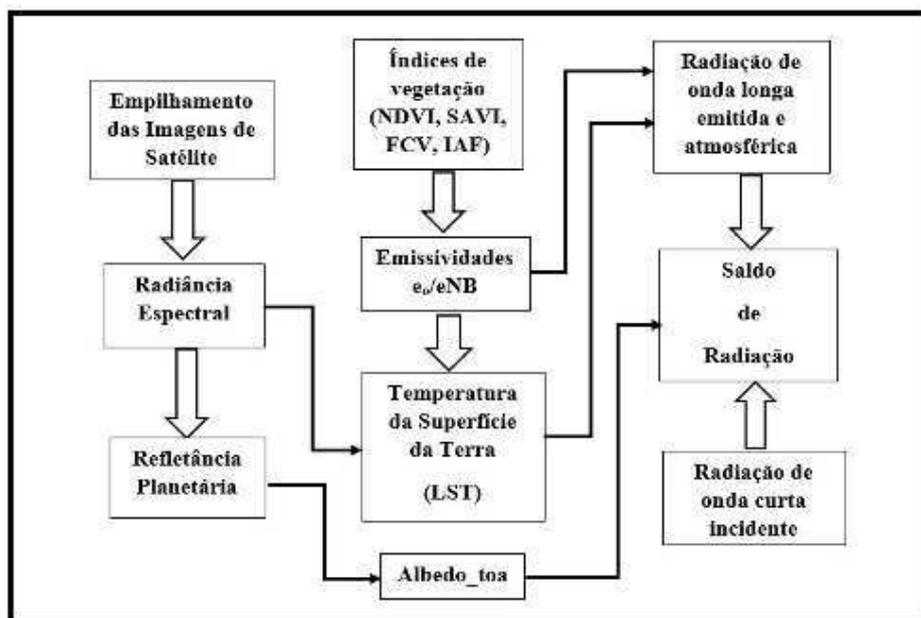
Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI (adimensional), Índice de Vegetação por ajuste do Solo – SAVI (adimensional), Índice de Área Foliar - IAF ( $m^2/m^2$ ) e Fração de Cobertura Vegetal – FCV (adimensional), emissividade da superfície –  $\epsilon_0$  (adimensional), temperatura da superfície –  $T_{sup}$  ( $^{\circ}C$ ), radiação de onda longa emitida pela superfície –  $R_{ol,emi}$  ( $W/m^2$ ) e saldo de radiação –  $R_n$  ( $W/m^2$ ), para toda a área de estudo, para que se possa avaliar as prováveis alterações sofridas pelos mesmos entre os anos de 1984 e 2019.

#### 4.5 – Determinação do saldo de radiação

O balanço de radiação pode ser considerado um processo, em que são contabilizados os fluxos radiativos (considerados positivos) que incidem no sistema formado pelo solo, vegetação e atmosfera, conforme ilustrado na Figura 3.1, bem como os fluxos que deixam esse mesmo sistema (considerados negativos). Na Figura 4.2 estão representadas as etapas do processo de contabilização dos diferentes mapas temáticos necessários para se obter cada componente envolvida no mencionado processo. Nesse sentido, o saldo de radiação –  $R_n$  ( $W/m^2$ ) pode ser contabilizado por meio da seguinte equação (BASTIAANSEN et al., 1998; ALLEN et al., 2007; SILVA et al., 2016; FERREIRA et al., 2020):

$$R_n = (1 - \alpha)R_{oc,inc} - R_{ol,emi} + \epsilon_0 R_{ol,atm} \quad (4.1)$$

em que  $R_{oc,inc}$  ( $W/m^2$ ) é a radiação de onda curta incidente,  $\alpha$  (adimensional) é o albedo de cada pixel,  $R_{ol,emi}$  ( $W/m^2$ ) representa a radiação de onda longa emitida por cada pixel,  $R_{ol,atm}$  ( $W/m^2$ ) é a radiação de onda longa atmosférica e  $\epsilon_0$  representa a emissividade de cada pixel em todo o domínio da radiação de onda longa.



**Figura 4.2** – Representação das etapas do processo de contabilização dos diferentes mapas temáticos integrantes do balanço de radiação com imagens Landsat.

#### 4.5.1 - Obtenção da radiação de onda curta incidente

Para se estimar a radiação de onda curta incidente -  $R_{oc,inc}$  ( $W/m^2$ ) foi empregada expressão considerada, mais recentemente, a de maior acurácia em aplicação no Semiárido brasileiro, e que também tem sido usada amplamente em diversos estudos (ALLEN et al., 2007; SILVA et al., 2016; FERREIRA et al., 2020):

$$R_{oc,inc} = S_o \cos Z d_r \tau_{oc} \quad (4.2)$$

em que  $S_o$  é a constante solar ( $1367,0 W/m^2$ ),  $Z$  é o ângulo zenital do Sol,  $d_r$  é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol e aquela verificada no dia de cada imagem, e  $\tau_{oc}$  é a transmissividade atmosférica no domínio da radiação solar, que foi obtida por (ALLEN et al., 2007):

$$\tau_{oc} = 0,35 + 0,627 \exp \left[ \frac{-0,00146 P_o}{K_t \cos Z} - 0,075 \left( \frac{W}{\cos Z} \right)^{0,4} \right] \quad (4.3)$$

em que  $Z$  é o ângulo zenital solar (em relação ao pixel central de cada imagem), no instante da passagem no satélite;  $P_o$  é a pressão atmosférica local (kPa);  $k_t$  é o coeficiente de turbidez da atmosfera, sendo  $k_t = 1$  para céu límpido e  $k_t = 0,5$  para turbidez extrema (ALLEN et al., 2007);  $W$  é a água precipitável (mm), calculada de acordo com a equação proposta por Garrison e Adler (1990):

$$W = 10 \left[ 0,14 e_a \left( \frac{P_o}{P_{nmm}} \right) + 0,21 \right] \quad (4.4)$$

onde  $e_a$  é a pressão parcial do vapor d'água atmosférico (kPa),  $P_o$  é a pressão atmosférica (kPa) e  $P_{nmm}$  é a pressão atmosférica reduzida ao nível médio do mar (kPa).

#### 4.5.2 – Determinação do albedo superficial

A determinação do albedo de cada pixel da cena selecionada, com correção atmosférica, pode ser obtida por meio da seguinte equação (BASTIAANSEN *et al.*, 1988; ALLEN *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2016; FERREIRA *et al.*, 2020):

$$\alpha = \frac{(\alpha_{toa} - \alpha_{atm})}{\tau_{oc}^2} \quad (4.5)$$

onde  $\alpha_{toa}$  é o albedo no topo da atmosfera, ou seja, sem correção atmosférica, resultante da combinação linear da reflectância das bandas de 2 a 7 do OLI - Landsat 8 e  $\alpha_{atm}$  é o albedo da radiação solar média refletida pela atmosfera considerando igual a 0,03 segundo SILVA *et al.* (2016):

$$\alpha_{toa} = 0,300 r_2 + 0,277 r_3 + 0,233 r_4 + 0,143 r_5 + 0,036 r_6 + 0,012 r_7 \quad (4.6)$$

em que  $r_2$  a  $r_7$  são as refletividades das bandas de 2 a 7 do OLI, computadas ao nível orbital (sem correção atmosférica), segundo SILVA *et al.* (2016):

$$r_b = \left( \frac{\text{Add}_b + \text{Mult}_b \text{NC}_b}{\cos Z d_r} \right) \quad (4.7)$$

onde  $\text{Add}_b$  e  $\text{Mult}_b$  são respectivamente os termos aditivo e multiplicativo do grupo radiométrico reescalado, disponíveis no metadados que acompanha cada imagem OLI-TIRS – Landsat 8, e  $\text{NC}_b$  é a intensidade de cada pixel da b-ésima banda. Para a refletividade das bandas do TM – Landsat 5 foi usada a seguinte equação (BASTIAANSSEN *et al.*, 1998):

$$\alpha_{\text{toa}} = 0,293 r_1 + 0,274 r_2 + 0,233 r_3 + 0,157 r_4 + 0,033 r_5 + 0,011 r_7 \quad (4.8)$$

em que  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $r_4$ ,  $r_5$ ,  $r_7$  são as refletividades das bandas de 1 a 5, mais a 7, do TM (SILVA *et al.*, 2015). Já a transmissividade atmosférica  $\tau_{\text{oc}}$  é a mesma apresentada na Equação (4.2).

#### 4.5.3 – Determinação das radiações de onda longa

Para se determinar a radiação de onda longa emitida por cada pixel –  $R_{\text{ol,emi}}$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) das imagens da cena selecionada, bem como da radiação produzida pela atmosfera na direção da superfície –  $R_{\text{ol,atm}}$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), recorreu-se à Lei de Stefan-Boltzmann, para cada caso, ou seja:

$$R_{\text{ol,emi}} = \epsilon_o \sigma T_{\text{sup}}^4 \quad (4.9)$$

em que  $\epsilon_o$  (adimensional) é a emissividade de cada pixel,  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$  é a constante de Stefan-Boltzmann e  $T_{\text{sup}}$  (K) é a temperatura da superfície, obtida com base na banda 10 do TIRS – Landsat 8. Por sua vez, a irradiância de onda longa atmosférica que atinge a superfície foi obtida segundo expressão semelhante, diferenciando-se quanto à emissividade e a temperatura, qual seja:

$$R_{\text{ol,atm}} = \epsilon_a \sigma T_a^4 \quad (4.10)$$

em que  $T_a$  (K) é a temperatura do ar e  $\epsilon_a$  (adimensional) é a emissividade do ar, obtida por meio de expressão proposta por Duarte *et al.* (2006):

$$\epsilon_a = 0,626 \left( \frac{e_a}{T_a} \right)^{0,131} \quad (4.11)$$

onde  $e_a$  é a pressão parcial do vapor d'água atmosférico (Pa) e  $T_a$  (K) é a temperatura do ar.

#### 4.5.4 – Determinação da temperatura da superfície com correção atmosférica

Em inúmeras pesquisas com balanços de radiação e energia tem sido negligenciada a correção atmosférica para fins de determinação da temperatura da superfície –  $T_{sup}$  (K). Nesse sentido, nesta pesquisa foi empregado modelo de correção atmosférica proposto por Quin *et al.* (2001), no qual a  $T_{sup,co}$  (K), ou seja, a temperatura da superfície com correção atmosférica, é dada por:

$$T_{sup, co} = \{a (1 - \alpha_1 - \alpha_2) + [b(1 - \alpha_1 - \alpha_2) + \alpha_1 + \alpha_2]T_b - \alpha_2 T_a\} / \alpha_1 \quad (4.12)$$

em que  $a = -67,355351$  e  $b = 0,458606$  são constantes usadas para linearizar a função de Planck,  $T_b$  (K) é a temperatura de brilho (banda 6 do TM - Landsat 5 e banda 10 do TIRS – Landsat 8), e os parâmetros  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  dependem da emissividade da superfície ( $\epsilon_{NB}$ ) e transmitância atmosférica na banda termal ( $\tau$ ), ou seja:

$$\alpha_1 = \epsilon_{NB} \tau \quad (4.13)$$

$$\alpha_2 = (1 - \tau)[1 + \tau(1 - \epsilon_{NB})] \quad (4.14)$$

Já a transmitância atmosférica da banda termal -  $\tau$  foi calculada com base em formulação obtida por Quin *et al.* (2002) para temperaturas atmosféricas elevadas e conteúdo de água precipitável entre 1,6 e 3,0 g cm<sup>-2</sup>, qual seja:

$$\tau = 1,031412 - 0,11536 w \quad (4.15)$$

em que  $w$  (g cm<sup>-2</sup>) é a água precipitável. A temperatura de brilho -  $T_b$  (K) foi obtida por meio da função de Planck invertida, com constantes de radiação específicas das bandas termais do TM (banda 6) e TIRS (banda 10), qual seja:

$$T_b = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda,BT}} + 1\right)} \quad (4.16)$$

onde  $K_1$  e  $K_2$  são as constantes de radiação específicas da banda 6 do TM – Landsat 5 ( $K_1 = 607,76$  W m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup> μm<sup>-1</sup> e  $K_2 = 1260,56$  K) e banda 10 do TIRS – Landsat 8 ( $K_1 = 774.8853$  W m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup> μm<sup>-1</sup> e  $K_2 = 1321.0789$  K);  $L_{\lambda,BT}$  (W m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup> μm<sup>-1</sup>) corresponde à radiância da banda termal (banda 6 – TM e banda 10 – TIRS). Finalmente, para a determinação de  $T_a$  (K), Quin *et al.* (2001) propuseram a seguinte expressão, para uma atmosfera tropical:

$$T_a = 17,9769 + 0,91715 T_{a,2m} \quad (4.17)$$

em que  $T_{a,2m}$  (K) é a temperatura do ar medida a 2 m da superfície.

#### 4.5.5 – Determinação das emissividades

Existem diferentes expressões para se obter a emissividade. Quando do cômputo da irradiância de onda longa emitida por cada pixel, há de ser considerada a emissividade no domínio da onda longa -  $\varepsilon_0$  (5 – 100  $\mu\text{m}$ ) e para se determinar a  $T_{\text{sup}}$  se faz necessário obter a emissividade no domínio da banda termal -  $\varepsilon_{\text{NB}}$ , que para valores do NDVI > 0 e IAF < 3, são calculadas segundo as expressões (Allen *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2015):

$$\varepsilon_{\text{NB}} = 0,97 + 0,00 \text{ IAF} \quad (4.18)$$

e

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01 \text{ IAF} \quad (4.19)$$

#### 4.5.6 - Determinação dos índices de vegetação

Na quantificação de algumas variáveis biofísicas e também na análise das mudanças no uso e ocupação foram considerados os índices de vegetação: NDVI, SAVI, IAF e FCV, dados pelas expressões (ALLEN *et al.*, 2007; TASUMI *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2015):

$$\text{NDVI} = \left( \frac{r_{\text{IVP}} - r_{\text{ver}}}{r_{\text{IVP}} + r_{\text{ver}}} \right) \quad (4.20)$$

$$\text{SAVI} = \left[ \frac{(1 + L)(r_{\text{IVP}} - r_{\text{ver}})}{(L + r_{\text{IVP}} + r_{\text{ver}})} \right] \quad (4.21)$$

$$\text{IAF} = - \frac{\text{Ln} \left( \frac{\text{SAVI} - 0,69}{0,59} \right)}{0,91} \quad (4.22)$$

$$\text{FCV} = \left( \frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\text{min}}}{\text{NDVI}_{\text{max}} - \text{NDVI}_{\text{min}}} \right)^2 \quad (4.23)$$

nas quais  $r_{\text{IVP}}$  e  $r_{\text{ver}}$  são as refletividades do infravermelho próximo e vermelho, respectivamente,  $L$  é um parâmetro do solo, que foi considerado igual a 0,1 a exemplo de vários estudos com balanços de radiação e energia (HUETE, 1998; ALLEN *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2015; FERREIRA *et al.*, 2020).

Para o cálculo da FCV considerou-se para o  $NDVI_{max}$  e  $NDVI_{min}$  os valores de 0,85 e 0,15, respectivamente.

#### 4.5.7 – Avaliação das diferenças entre os recortes selecionados

Para avaliar se há diferença significativa entre diferentes tipos de uso e ocupação numa mesma data, ou temporalmente numa mesma área, foram selecionados sete pequenos recortes (plots) que compreendiam 121 pixels, cada um deles: Noroeste - NO, Nordeste - NE, Sudoeste - SO, Sudeste - SE, Pivô e também nas áreas urbanas de Luís Eduardo Magalhães (BA) e Barreiras (BA). As coordenadas do centro de cada um desses recortes foram usadas para se obter as séries temporais das temperaturas do ar máxima -  $T_{a,max}$  (°C) e mínima -  $T_{a,min}$  (°C) diárias, e da evapotranspiração de referência –  $E_{To}$  (mm) diária, produzidos pelo Monthly Climate and Climatic Water Balance for Global Terrestrial Surfaces (TerraClimate), que combina dados de alta resolução espacial de normais climatológicas do WorldClim data set, com o CRU Ts4.0 e JRA55 - Japanese 55-year (ABATZOGLOU, 2018) junto ao Google Earth Engine.

Foi usado o teste estatístico de diferença entre médias para grandes amostras, em que a Hipótese Nula –  $H_0$ , é a de que as amostras provêm de uma mesma população, isto é, que não há diferença significativa entre as médias de duas amostras de tamanhos  $n_1$  e  $n_2$ , extraídas dessa mesma população. Nesse sentido, a estatística do teste é dada por (WILKS, 1995):

$$Z_{cal} = \frac{X_1 - X_2}{\sigma_{x1} - \sigma_{x2}} \quad (4.24)$$

em que  $X_1$  e  $X_2$  representam as médias das duas amostras, e  $\sigma_{x1}$  e  $\sigma_{x2}$  os seus desvios padrão. Já o desvio padrão da diferença entre as médias, isto é,  $\sigma_{x1-x2}$ , é dado por:

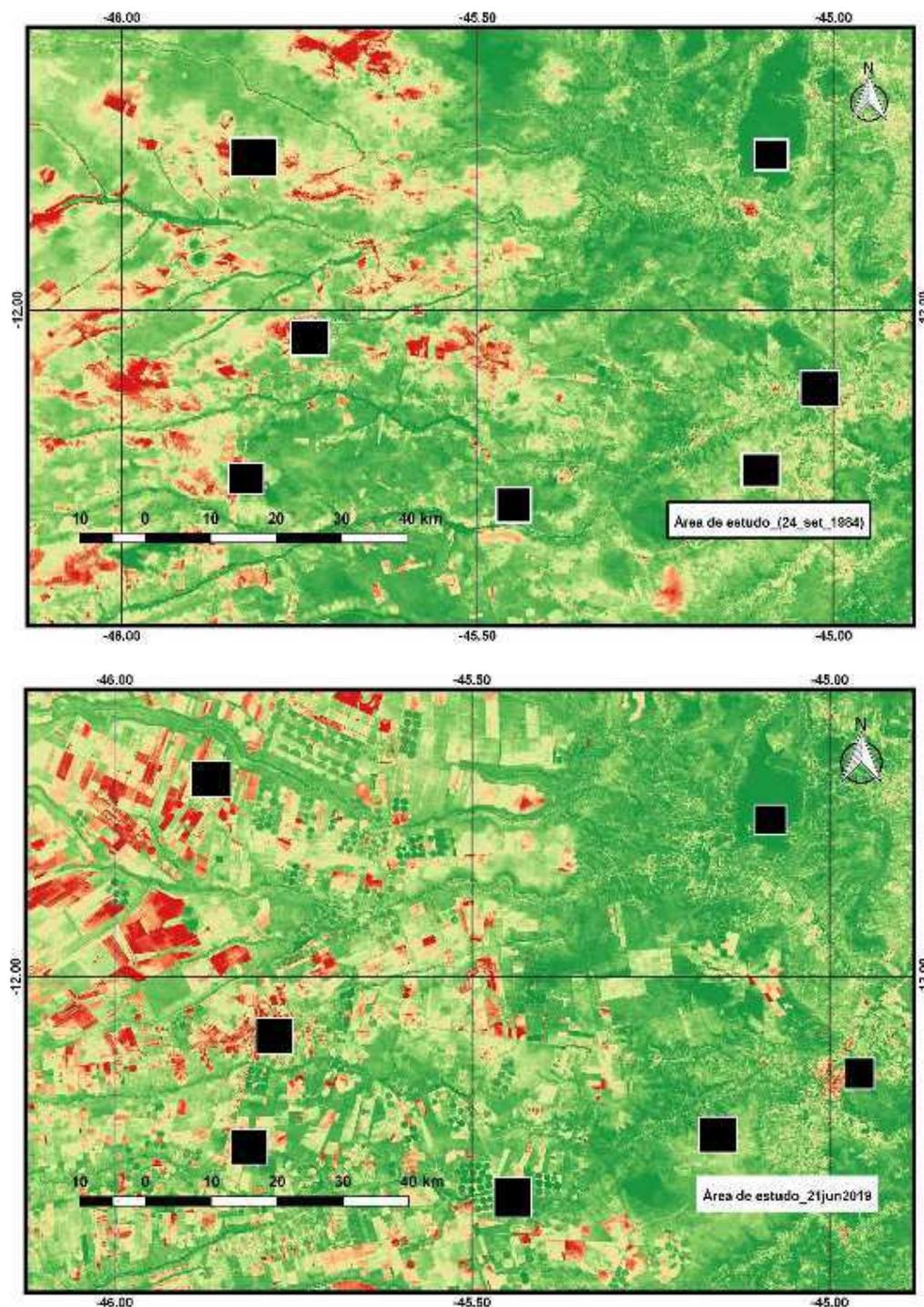
$$\sigma_{x1-x2} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} - \frac{\sigma_2^2}{n_2}} \quad (4.25)$$

onde  $n_1$  e  $n_2$  correspondem ao número de elementos das amostras 1 e 2, respectivamente. Considerou-se o nível de significância  $\alpha = 0,01$ , com avaliação bicaudal. Para esse  $\alpha$  o Z crítico –  $Z_{crit}$  para  $n = 121$ , foi igual 2,16, ou seja, a Hipótese Nula é rejeitada sempre que  $Z_{cal} > Z_{crit}$ .

#### 4.5.8 – Procedimentos computacionais para geração dos mapas temáticos

Para a geração dos mapas temáticos produzidos com imagens TM - Landsat 5 e OLI/TIRS – Landsat 8 foram desenvolvidos diversos procedimentos computacionais. Inicialmente, foram obtidas imagens TM – Landsat 5 dos anos de 1984, 1993, 1998, 2004 e 2010, junto ao site da *Divisão de*

Geração de Imagens do INPE: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Já as imagens OLI/TIRS – Landsat 8 de 2019, num total de doze imagens, foram obtidas junto ao site: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.



**Figura 4.3** – Área de estudo em representação falsa cor RGB432 (sistema de coordenadas: UTM, zona 23, datum WGS84) do TM – Landsat 5 de 24 de setembro de 1984 (superior) e RGB543 do OLI – Landsat 8 (inferior) obtida em 21 de junho de 2019 com inclusão dos plots selecionados para análise posterior.

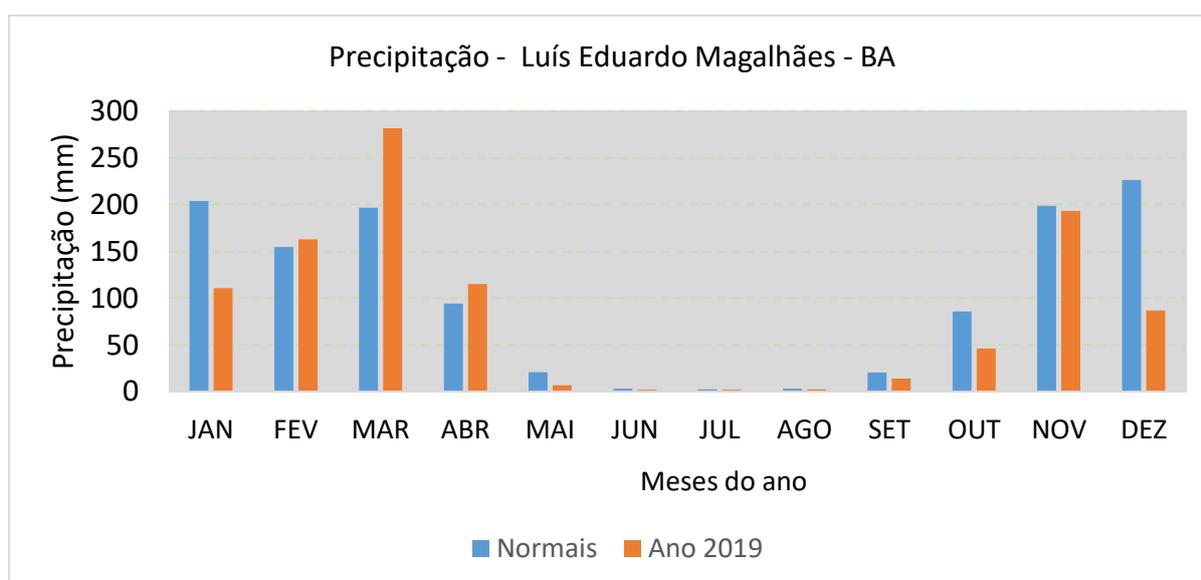
Uma vez obtidas as imagens, foi feito o empilhamento das bandas de 1 a 7 do TM – Landsat 5 e das bandas de 2 a 7 do OLI, juntamente com a da banda 10 do TIRS. Para tanto, foi empregado o software Erdas 9.1. Embora as alterações no uso e ocupação sejam bem evidentes nas imagens da órbita 220, ponto 068, decidiu-se usar também a imagem da órbita 220 e ponto 069. Numa etapa subsequente, foi feita a composição das duas imagens e a partir da mesma selecionou-se um recorte que pudesse representar adequadamente as mudanças que se tem registrado no Cerrado baiano, conforme se depreende de uma inspeção visual das cenas de 24 de setembro de 1984 e 21 de junho de 2019, ambas representadas na Figura 4.3. Esta área possui cerca de 15.000 km<sup>2</sup>, ou seja, 1.500.000 ha. Pode-se observar que de 1984 a 2019 houve uma profunda alteração no uso do solo, especialmente na sua metade mais ocidental. É amplamente conhecido que nas áreas territoriais dos municípios de Luís Eduardo Magalhães (BA) e Barreiras (BA), quase que inteiramente inseridas na área de estudo, há predomínio de cultivos irrigados, especialmente algodoeiro e soja, em muitos casos com pivô central, bem visíveis na cena de 2019. Pode-se também deduzir que o recorte do estudo tem cerca de 100 km de largura e compreende quase 15.000 Km<sup>2</sup>, ou seja, aproximadamente, 1.500.000 ha.

Para cada imagem, foram extraídas dos seus metadados informações acerca do instante de geração de cada imagem, dos coeficientes de calibração das bandas do OLI/TIRS – Landsat 8, quais sejam, das radiâncias mínima –  $L_{min}$  ( $W\ m^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$ ) e máxima –  $L_{máx}$  ( $W\ m^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$ ) que precisam ser atualizadas para cada data usada, diferentemente do verificado para o TM – Landsat 5. Além dessas informações, foram reunidos ainda o ângulo de elevação do Sol –  $\hat{E}$  (graus) e a distância Terra-Sol (em Unidade Astronômica), de cada imagem Landsat 8. Para o Landsat 5, foram obtidos o ângulo de elevação do Sol e o instante de geração do ponto central de cada imagem, no mesmo site da DGI-INPE. Para a elaboração dos mapas temáticos do albedo, índice de vegetação (NDVI), temperatura da superfície – LST (°C) e do saldo de radiação -  $R_n$  ( $W/m^2$ ), foi usado o software QGIS versão 2.18.18.

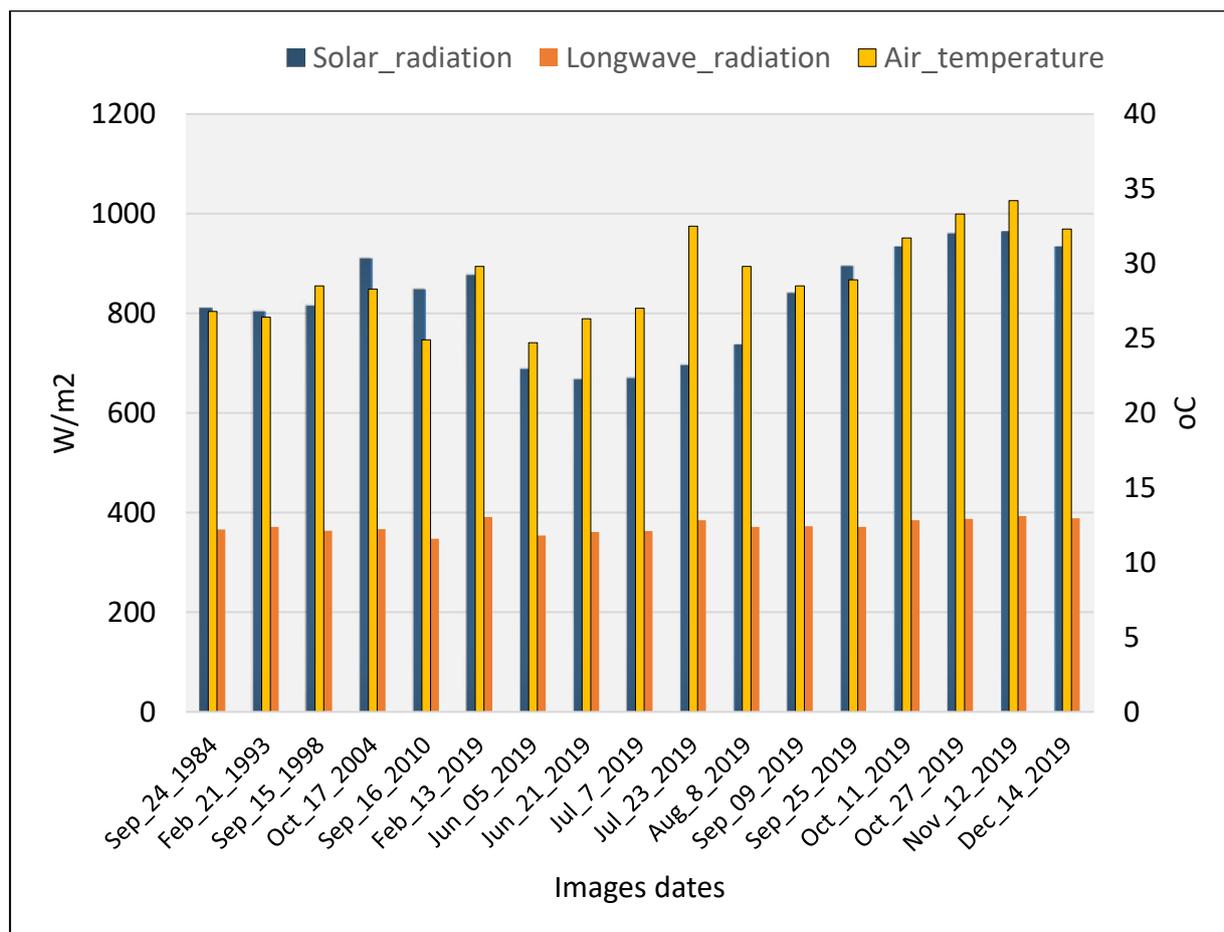
## 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 – Análise dos mapas temáticos de componentes biofísicas do balanço de radiação

Conforme indicado em *Material e Métodos* foram obtidas diversas variáveis envolvidas no cômputo do saldo de radiação com o emprego de imagens Landsat. Dentre as diferentes variáveis computadas, foram selecionadas, para se avaliar as alterações ocorridas no uso e ocupação do solo, o albedo, o NDVI, a temperatura da superfície – Tsup (°C) e o saldo de radiação – Rn (W/m<sup>2</sup>). Para que se possa melhor compreender as variações sazonais e interanuais, e especialmente os impactos sofridos por essas variáveis como consequência das mudanças no uso e ocupação da terra na área de estudo, se faz necessário considerar o regime de chuvas da área de estudo. Nesse sentido, estão representados na Figura 5.1, as médias dos totais mensais das precipitações (mm) da localidade de Luís Eduardo Magalhães (BA), correspondentes ao período de 1981 a 2020, e também os totais mensais do ano de 2019, com base em dados pluviométricos do Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station - CHIRPS. Como pode ser observado, no período de outubro a abril as chuvas acumuladas mensalmente são bem superiores aos 50 mm, enquanto o período seco do ano vai de maio a setembro, com pouca ocorrência de eventos chuvosos. Já na Figura 5.2 estão representados os valores da radiação solar instantânea (W/m<sup>2</sup>), radiação de onda longa atmosférica e temperatura do ar (°C) obtidos quando da geração dos mapas temáticos selecionados, de modo a proporcionar melhor interpretação das influências do regime pluviométrico local e das mudanças no uso e ocupação do solo.



**Figura 5.1** – Precipitação pluviométrica mensal (mm) das normais e do ano de 2019, gerada pelo CHIRPS.

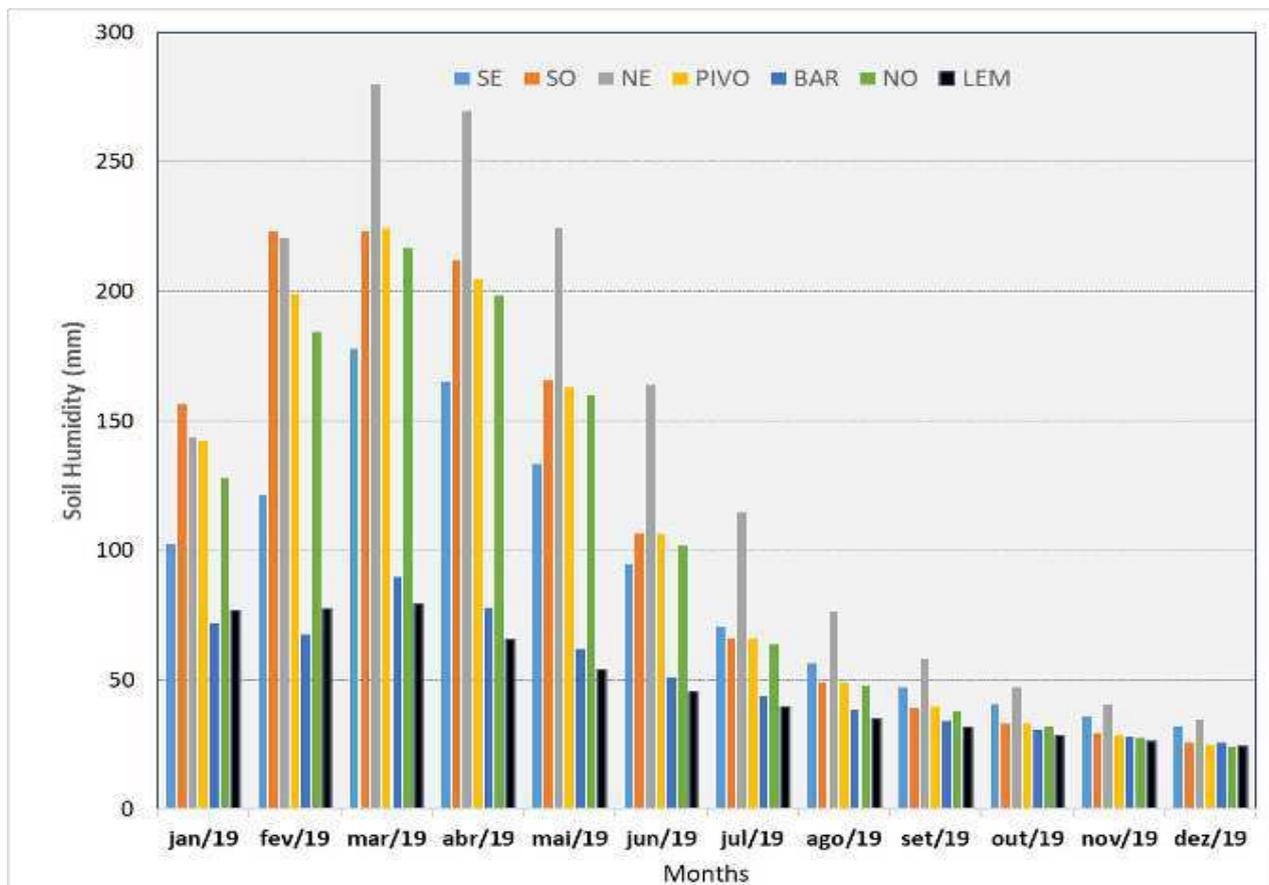


**Figura 5.2** – Valores da radiação solar incidente, radiação de onda longa atmosférica e temperatura do ar (°C) usados por ocasião da determinação do balanço de radiação das imagens selecionadas.

### 5.1.1 – Análise dos mapas temáticos do albedo

Nas Figuras 5.4 a 5.6 estão representados os mapas temáticos do albedo obtidos com imagens Landsat 5 – TM e Landsat 8 – OLI, gerados com o Erdas 9.1 e QGIS 2.18.18, compreendendo 3 diferentes datas com o TM e outras 6 com o OLI. Pode-se observar nitidamente na Figura 5.4 que houve um aumento acentuado nos valores do albedo obtidos em 1984 e 1993, em relação com aqueles do ano de 2010, resultado da expansão das culturas agrícolas, que se depreende com base na inspeção visual dos talhões que aparecem nitidamente na imagem de setembro de 2010. Na imagem de 24 de setembro de 1984, aquela com menor antropização dentre todas as imagens selecionadas para a pesquisa, os tons avermelhados indicam haver grandes extensões de terreno com valores do albedo acima de 0,25, o que é certamente reflexo do regime de chuvas da região, já que setembro corresponde ao último mês do período seco localmente, e o solo se encontra com a menor quantidade de água

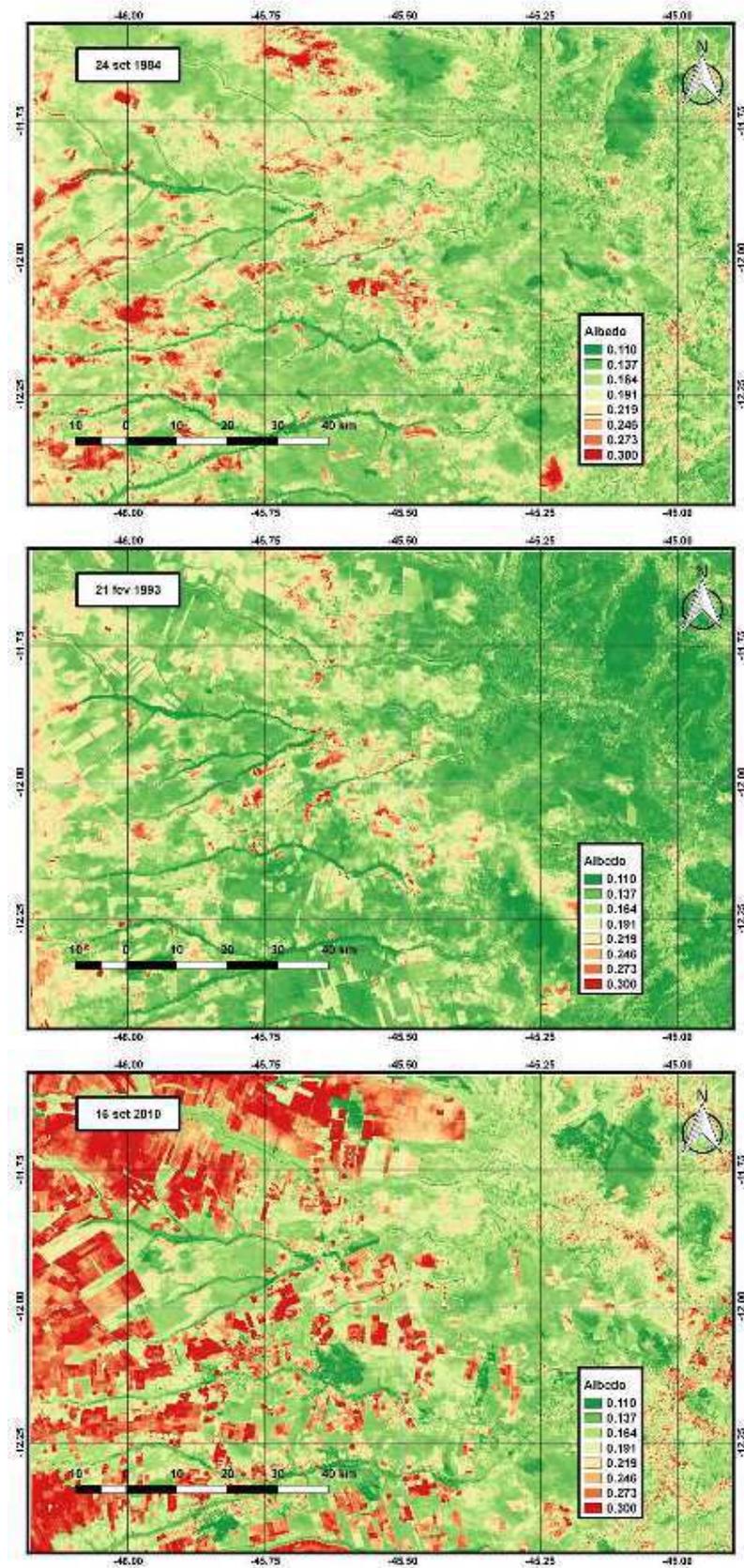
armazenada, o que promove aumento do albedo e redução do NDVI, como pode ser visto na Figura 5.3, obtida com dados do *Terraclimate* via *Google Earth Engine*.



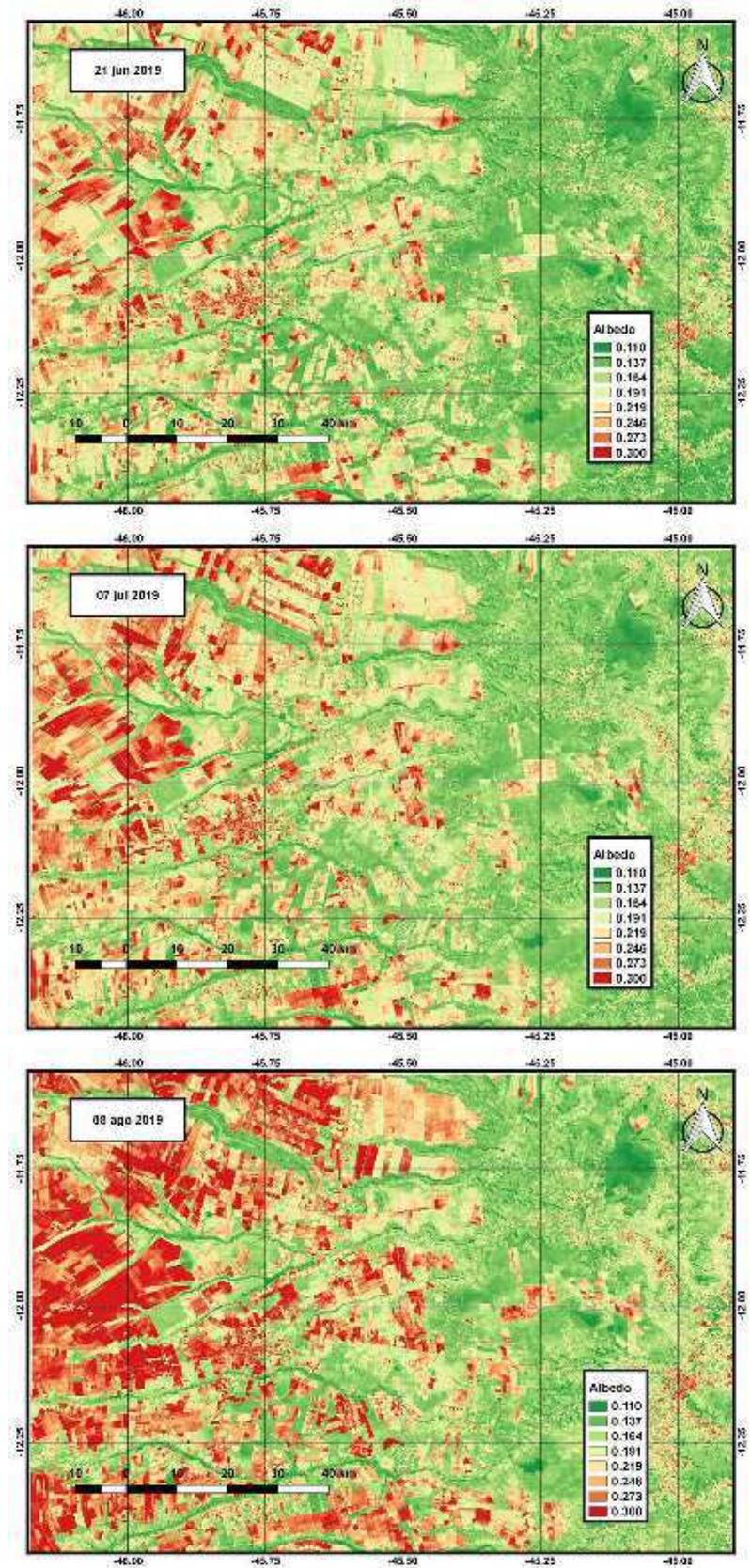
**Figura 5.3** - Umidade do solo (mm) em sete plots obtidos pelo TerraClimate no ano de 2019.

Já no mapa de 21 de fevereiro de 1993, obtida quase dez anos mais tarde, e em plena estação chuvosa, os valores do albedo se mostram bem abaixo daqueles obtidos no mapa de 1984. Mais uma vez se observa os efeitos do regime pluviométrico sobre a área de estudo. No mapa de 16 de setembro de 2010, os formatos do terreno indicam de modo nítido uma maior ocupação da área para fins agrícolas, com um aumento considerável em relação aos mapas de 1984 e 1993. Uma consequência imediata da mudança no uso do solo foi o aumento do albedo na metade mais ocidental da área de estudo. Não obstante o regime pluviométrico da região, destaca-se uma área sempre verde na região nordeste do recorte, com grande estabilidade quanto aos valores do albedo e demais variáveis biofísicas estudadas, como será visto mais adiante. Em virtude dessa estabilidade, essa área foi escolhida para se avaliar a sua variação temporal compondo um dos sete plots a serem analisados mais adiante.

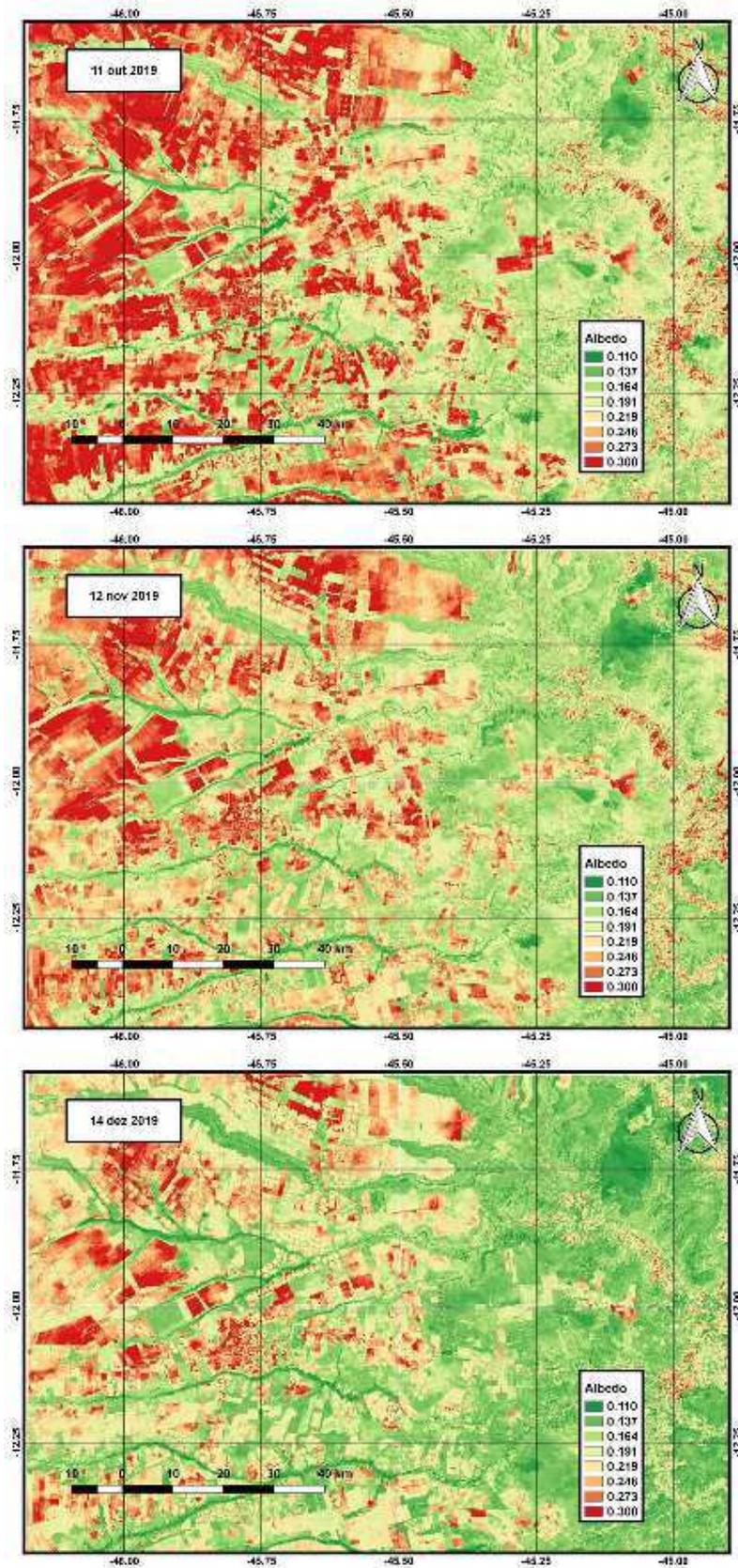
As imagens do TM revelam, através do albedo, efeitos da sazonalidade e, de modo inequívoco, das mudanças no uso do solo. A sazonalidade, a intensificação das mudanças no uso e a fenologia das culturas se fazem sentir mais claramente nas imagens selecionadas no ano de 2019, seis das quais estão representadas nas Figuras 5.5 e 5.6. Na Figura 5.5 estão representados os mapas do albedo obtidos nos meses de junho, julho e agosto, todas na estação seca do ano. No entanto, a umidade armazenada no solo ao final do mês de junho e a sua diminuição nos meses subsequentes deve ser responsável pelo aumento gradual nos valores do albedo verificado entre os meses de junho e agosto, bem nítidos na sequência de mapas representados na Figura 5.5. Os padrões observados nos valores do albedo são muito semelhantes, observando-se na metade ocidental da região de estudo, muitos pixels com valores superiores a 0,27, que revelam que em muitas das áreas agrícolas haveria muita exposição do solo, o que traria redução no NDVI e aumento na LST (°C), como será visto mais adiante. Essa intensificação nos valores do albedo continua nos meses de outubro e novembro, não obstante a chegada das chuvas. Em dezembro, a parte oriental da área de estudo, revela padrões de albedo característicos das áreas não antropizadas. Ou seja, ao se inspecionar os três mapas conjuntamente, se percebe que na porção oriental dos mapas, uma diminuição gradual, mas bem nítida, nos valores do albedo, e um consequente aumento do número de pixels com essa característica, um sinal claro da interferência do regime de chuvas nas áreas pouco antropizadas. Na porção ocidental do recorte, também se percebe uma diminuição do albedo, certamente associada ao regime pluviométrico da região, e que se mostra mais nítidas nas veias indicadoras das matas ciliares, mais perceptíveis na cena de dezembro de 2019. Nos mapas da Figura 5.6 ainda não se percebe com clareza as variações nos padrões do albedo nos pivôs, e outras parcelas irrigadas, o que fica muito difícil de constatar sem a identificação das culturas e de seu estágio fenológico. Os mapas representados na Figura 5.5, todos obtidos na estação chuvosa, sugerem que o calendário agrícola também deve ser responsabilizado pelo aumento do albedo.



**Figura 5.4** – Mapas temáticos do albedo obtidos com imagens Landsat 5 nas datas 24 de setembro de 1984, 21 de fevereiro de 1993 e 16 de setembro de 2010.



**Figura 5.5** – Mapas temáticos do albedo obtidos com imagens Landsat 8 nas datas 21 de junho, 07 de julho e 08 de agosto de 2019.

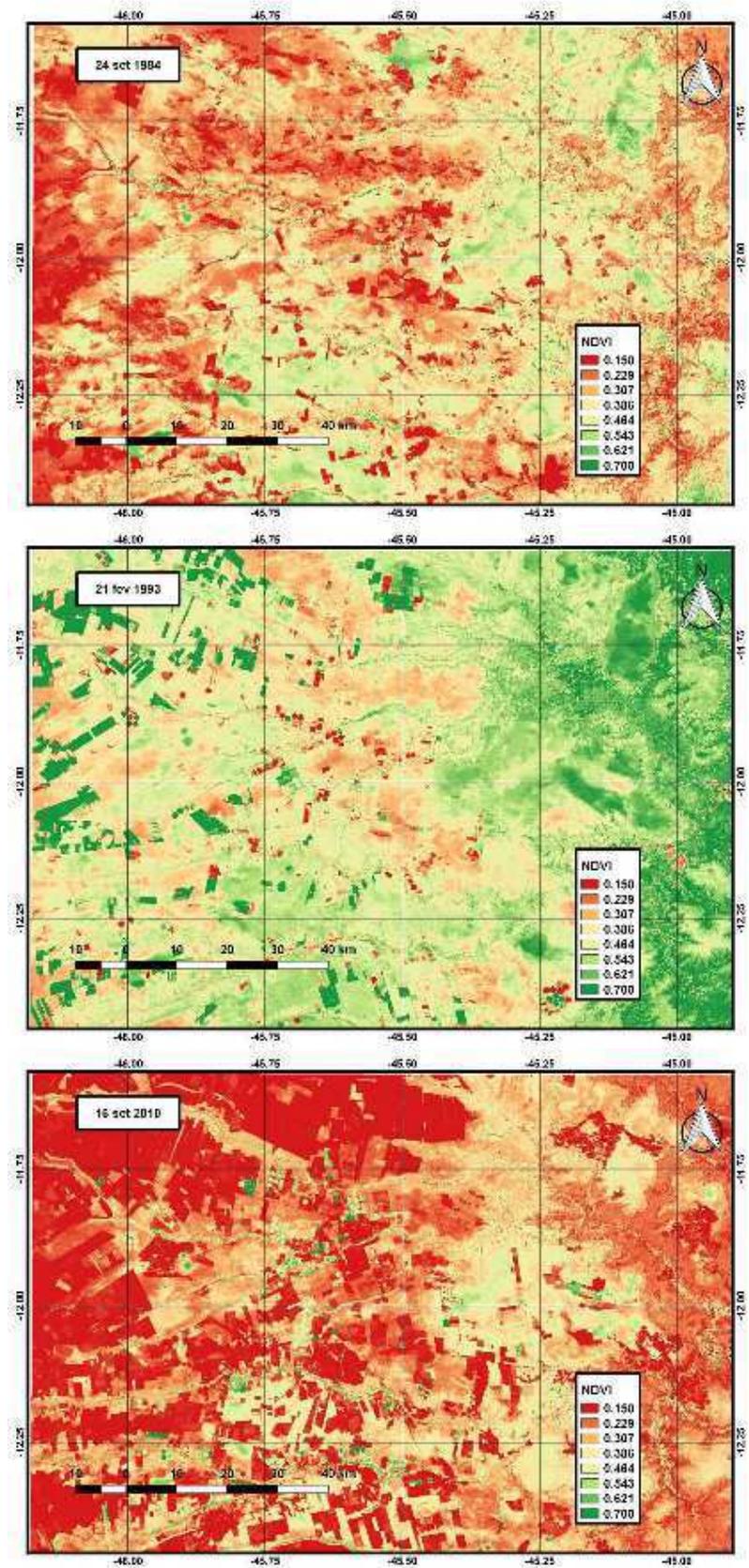


**Figura 5.6** – Mapas temáticos do albedo obtidos com imagens Landsat 8 nas datas 11 de outubro, 12 de novembro e 14 de dezembro de 2019.

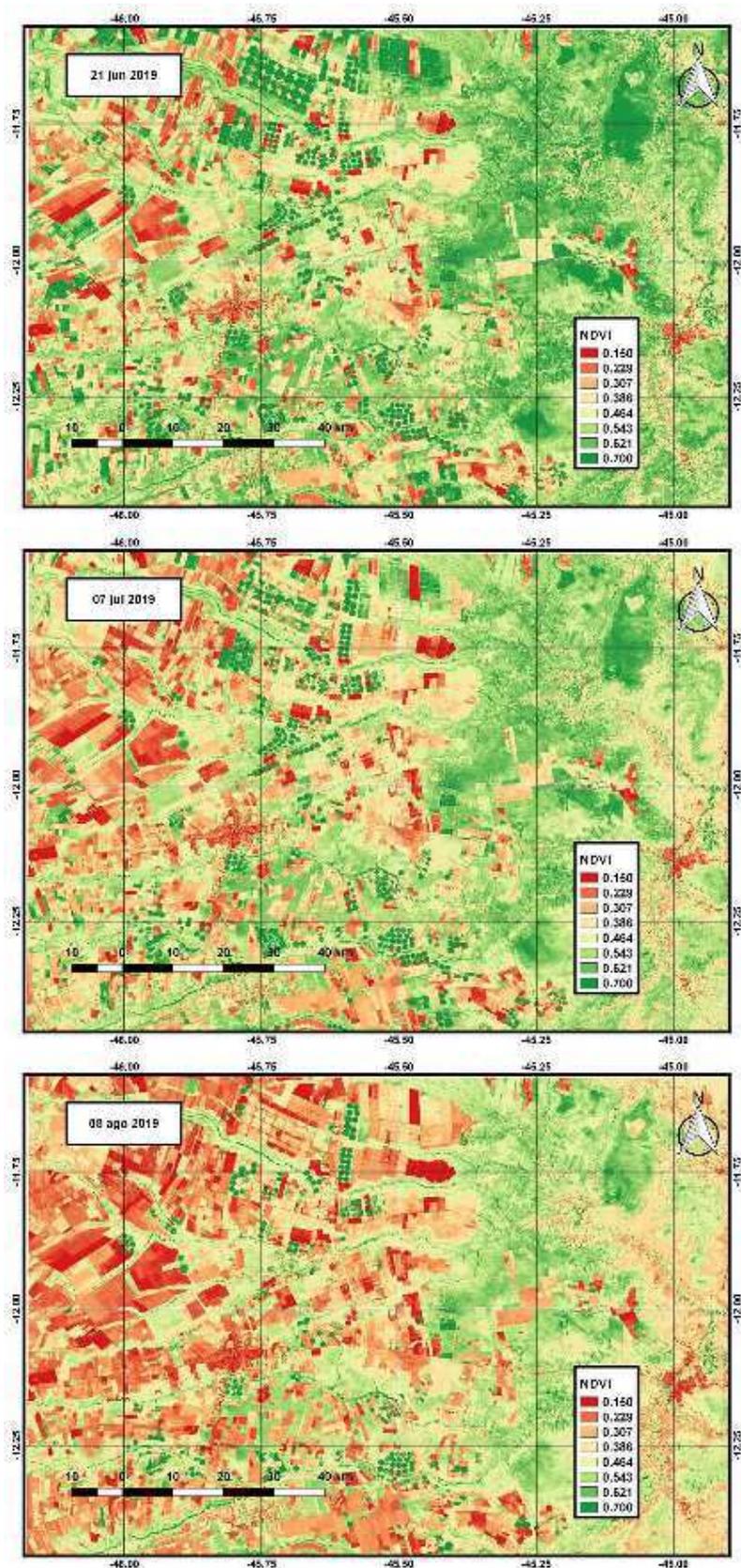
### 5.1.2 – Análise dos mapas temáticos do NDVI

Nas Figuras 5.7 a 5.9 estão representados os mapas temáticos do NDVI obtidos com as imagens do Landsat 5 e 8. Nos mapas de 1984 e 1993 se evidencia a grande influência das chuvas nos padrões do NDVI, uma vez que entre os mapas de 24 de setembro de 1984 (final da estação seca) e o de 21 de fevereiro de 1993 (plena estação chuvosa), correspondendo a situações pouco antropizadas, há um grande contraste entre os valores do NDVI. Essa situação se revela ainda mais nítida que aquelas observadas com o albedo entre essas mesmas datas. Já em 16 setembro de 2010, quando o formato no recorte das propriedades rurais revela uma grande antropização por que experimenta a área de estudo, se constata uma diminuição ainda maior nos valores do NDVI, resultantes do regime chuvoso, mas também como consequência da expansão e do calendário agrícola, vez que predomina na área grande número de talhões com soja e algodão, cultivos com ciclo de três a quatro meses. Embora pouco perceptível na imagem de setembro de 2010, observa-se alguns pivôs com tonalidade verde, que indica cultura com acentuado vigor, revelado pelos altos valores do NDVI e que não dependem do regime pluviométrico.

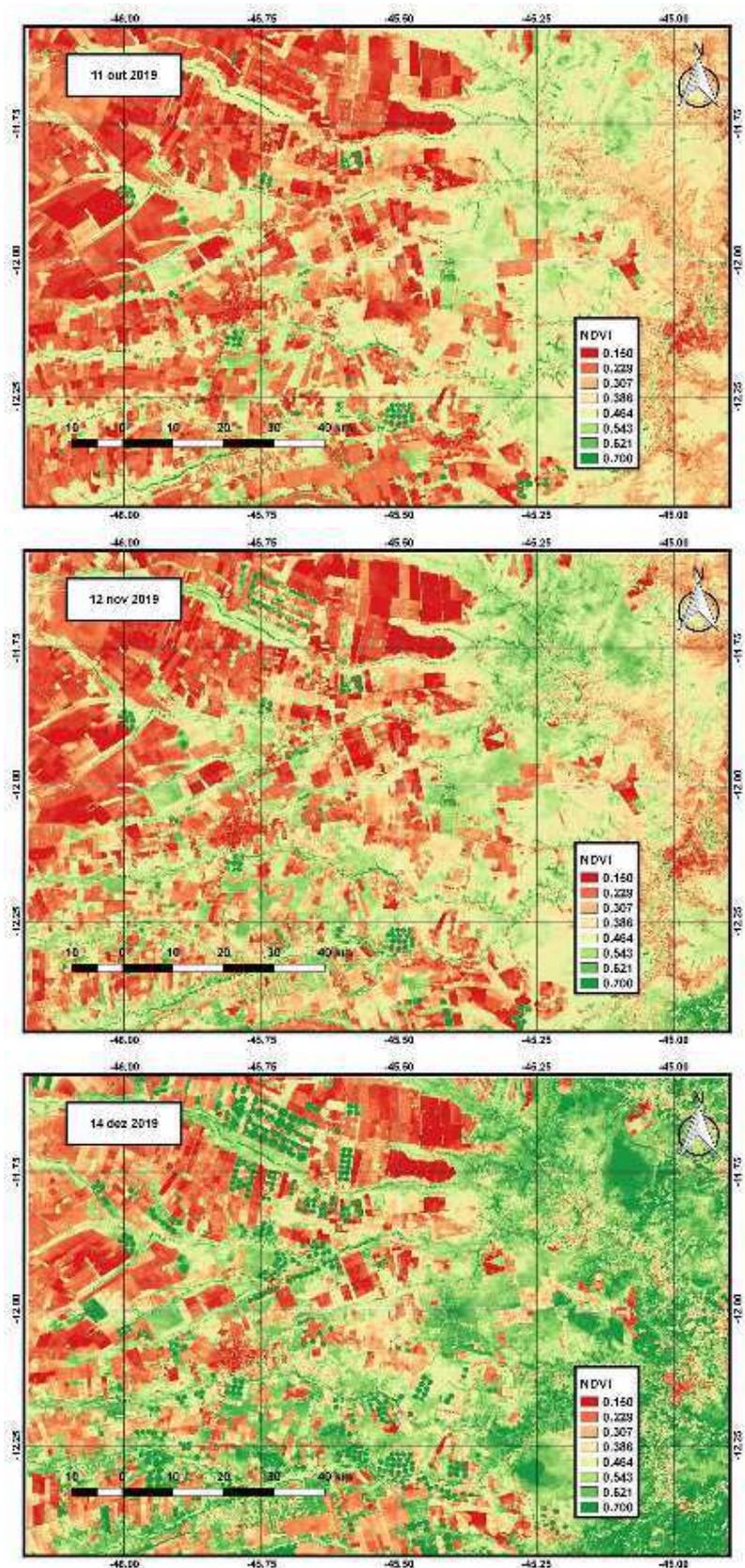
Nas imagens obtidas pelo Landsat 8, representadas nos mapas do NDVI de 21 de junho, 07 de julho e 08 de agosto, se observa grande contraste entre os extremos do NDVI em áreas de pivôs e outros talhões agrícola irrigados, que são fortemente influenciados pelo estágio fenológico das culturas, mas não áreas com outros tipos de cobertura, do regime pluviométrico local. Na porção nordeste da área nota-se uma redução visível entre os valores doo NDVI de junho a agosto, consequência direta do regime de chuvas, e que corresponde a grandes extensões de terra ainda pouco antropizadas. Na porção centro-norte da área de estudo se observa um grande número de pivôs com valores menores que 0,16 em outubro e com aumento acentuado em novembro e ainda maior em dezembro. Essa situação se repete na porção centro-sul do recorte estudado, consequência direta do calendário agrícola. No entanto, dentre todas as cenas de 2019, a de dezembro é a que evidencia mais nitidamente a influência que a porção oriental do recorte recebe doo regime de chuvas da área de estudo.



**Figura 5.7** – Mapas temáticos do NDVI obtidos com imagens Landsat 5 nas datas 24 de setembro de 1984, 21 de fevereiro de 1993 e 16 de setembro de 2010.



**Figura 5.8** – Mapas temáticos do NDVI obtidos com imagens Landsat 8 nas datas 21 de junho, 07 de julho e 08 de agosto de 2019.



**Figura 5.9** – Mapas temáticos do NDVI obtidos com imagens Landsat 8 nas datas 11 de outubro, 12 de novembro e 14 de dezembro de 2019.

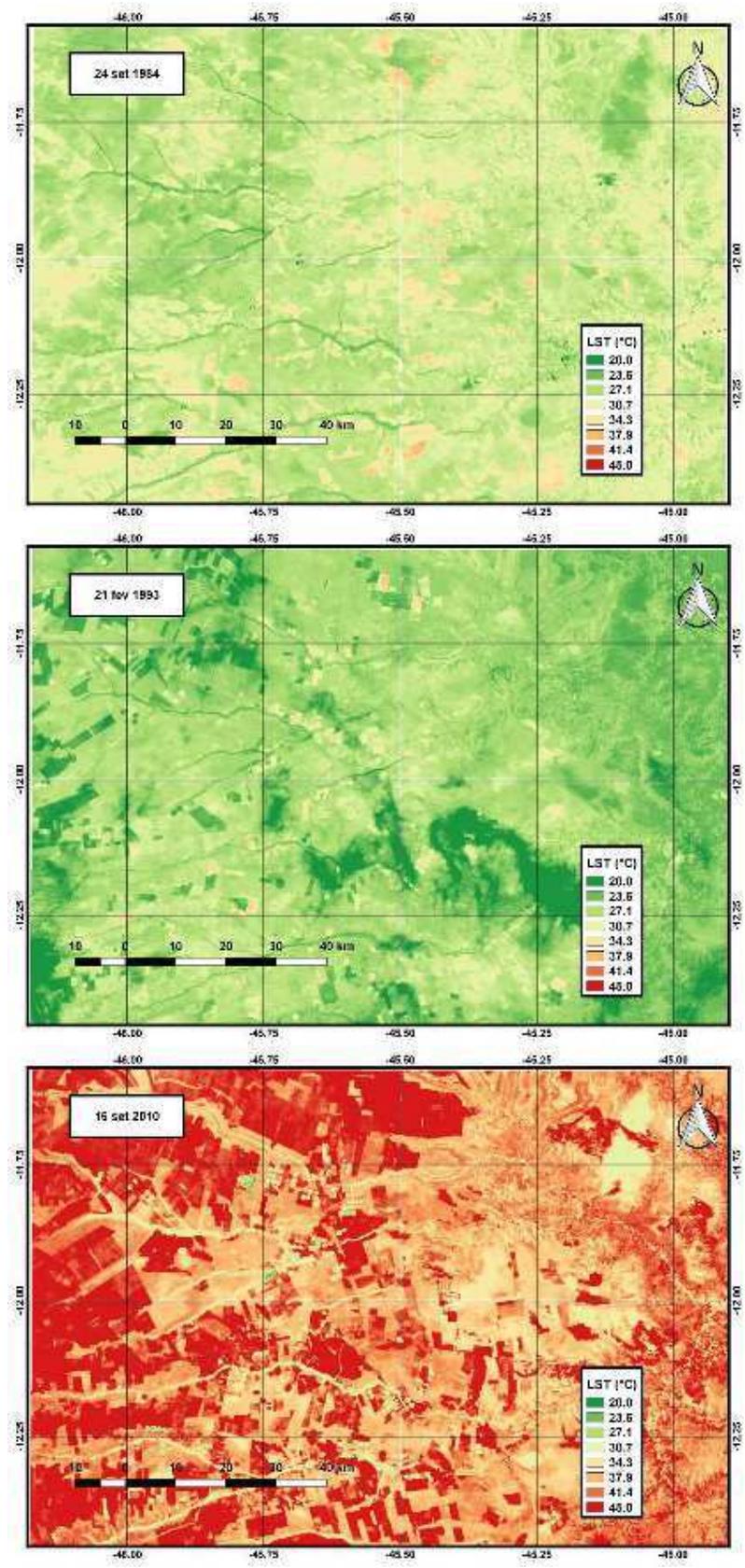
### 5.1.3 – Análise dos mapas temáticos da LST

Os mapas temáticos da temperatura da superfície – LST (°C) estão representados nas Figuras 5.10 a 5.12. Os valores da LST (°C) estão fortemente associados ao regime pluviométrico, caso das áreas com pastagem ou cultivos agrícolas em regime de sequeiro, e também à radiação solar incidente. Já nas áreas agrícolas irrigadas, a LST (°C) está intimamente relacionada com o NDVI, só que em relação inversa, ou seja, quanto maior o NDVI menor a LST (°C). Nos mapas temáticos representados na Figura 5.10, referentes aos anos de 1984, 1993 e 2010, observa-se que os padrões observados em 1984 (estação seca do ano) os valores são um pouco superiores aos observados em 21 de fevereiro de 1993, resultado da forte influência do regime pluviométrico local, já que a radiação solar incidente em ambas as datas tenha atingido basicamente os mesmos valores, ou seja, de 810,7 W/m<sup>2</sup> (1984) e 803,7 W/m<sup>2</sup> (1993), conforme Figura 5.2. Por outro lado, a influência humana praticamente não se fazia sentir ainda nesses dois anos. Já na imagem de 16 de setembro de 2010, há uma sobreposição da influência do regime pluviométrico (estação seca) e também das mudanças intensas no uso e ocupação. Nas áreas agrícolas depreende-se haver grande exposição do solo e pouca umidade disponível no solo, final da estação seca, o que impacta fortemente os valores da LST (°C).

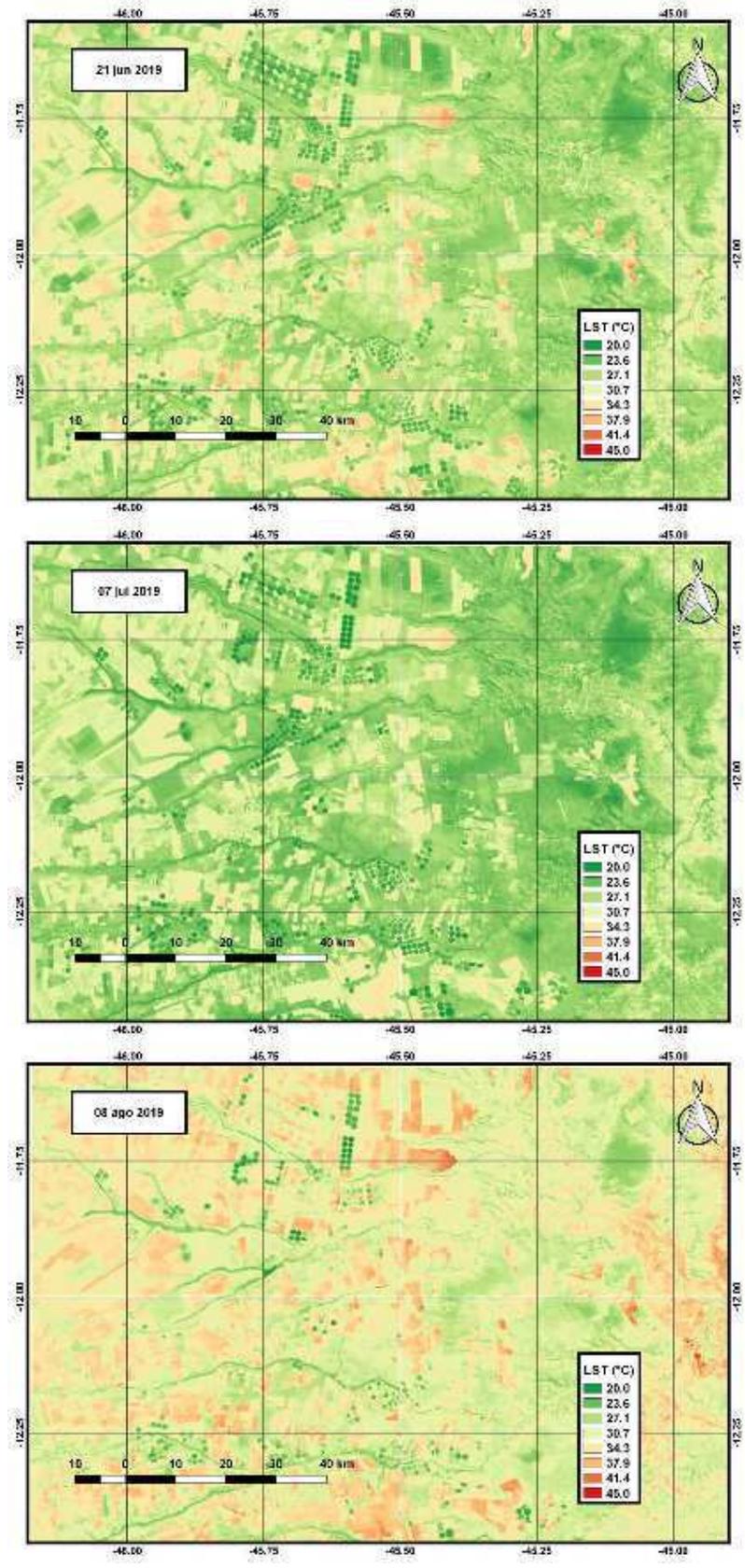
Nos mapas temáticos da LST (°C) obtidos em 2019, observa-se que os valores da radiação solar incidente foram basicamente os mesmos nos dias 21 de junho e 7 de julho, quais seja, 666,9 W/m<sup>2</sup> e 670,0 W/m<sup>2</sup>, respectivamente, por ocasião da passagem do Landsat 8 sobre a área de estudo. Logo, o conteúdo de água disponível no solo é que foi determinante nos padrões de LST (°C) observados, muito semelhantes, mas que em 1993 se mostraram ligeiramente inferior. Uma análise mais pormenorizada nos mapas revela que as áreas irrigadas, especialmente nos pivôs, os valores da LST são em geral inferiores aos 28,0 °C. Na cena de 8 de agosto de 2019, fica evidenciado um aumento expressivo na LST (°C), que está associados ao regime pluviométrico, últimos meses da estação seca, o que impacta a área de estudo como um todo. No entanto, se observa em algumas áreas irrigadas, caso mais nítido nos pivôs irrigados da porção central-norte da região, e também em alguns isolados no centro-sul da região, talhões com valores inferiores aos 23,0 °C, ou seja, com diferença de mais de 20 °C. Isso é uma forte evidência do antropismo e não do regime pluviométrico e sazonalidade da radiação solar. Mais uma vez, a porção nordeste da região apresenta padrões de LST (°C) também bem baixos, influência dos baixos valores do albedo e NDVI que apresentam.

Nos mapas de LST (°C) de outubro, novembro e dezembro representado na Figura 5.12 se percebe um aumento generalizado da temperatura da superfície que resulta da diminuição da umidade do solo representado na Figura 5.3, aumento da radiação solar incidente representado na Figura 5.2 mas também das mudanças no uso e ocupação da área. Os contrastes entre áreas irrigadas com

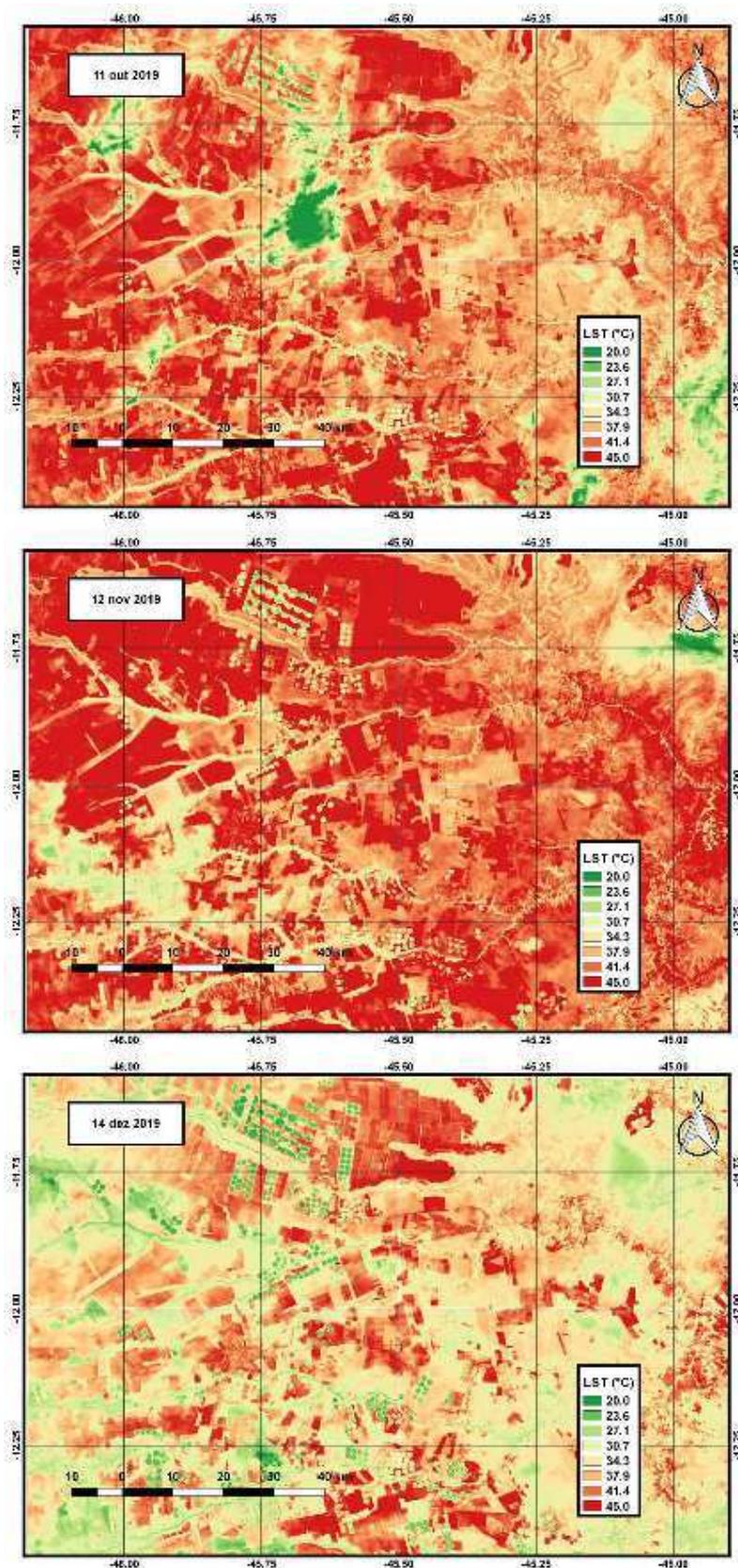
cultivos com elevados valores no NDVI e entre talhões agrícolas em fase de cultivo com grande exposição do solo, ultrapassam 20 °C. Nota-se que muitos pivôs na porção superior-norte da área apresentam grande contraste entre outubro e dezembro, consequência da fenologia das culturas e resultantes das mudanças no uso e ocupação. Em dezembro, mesmo com grande incidência da radiação solar, os padrões de LST (°C) sofrem uma redução importante, consequência do aumento da umidade do solo em resposta ao regime hídrico.



**Figura 5.10** – Mapas temáticos da LST (°C) obtidos com imagens Landsat 5 nas datas: 24 de setembro de 1984, 21 de fevereiro de 1993 e 16 de setembro de 2010.



**Figura 5.11** – Mapas temáticos da LST (°C) obtidos com imagens Landsat 8 nas datas 21 de junho, 07 de julho e 08 de agosto de 2019.

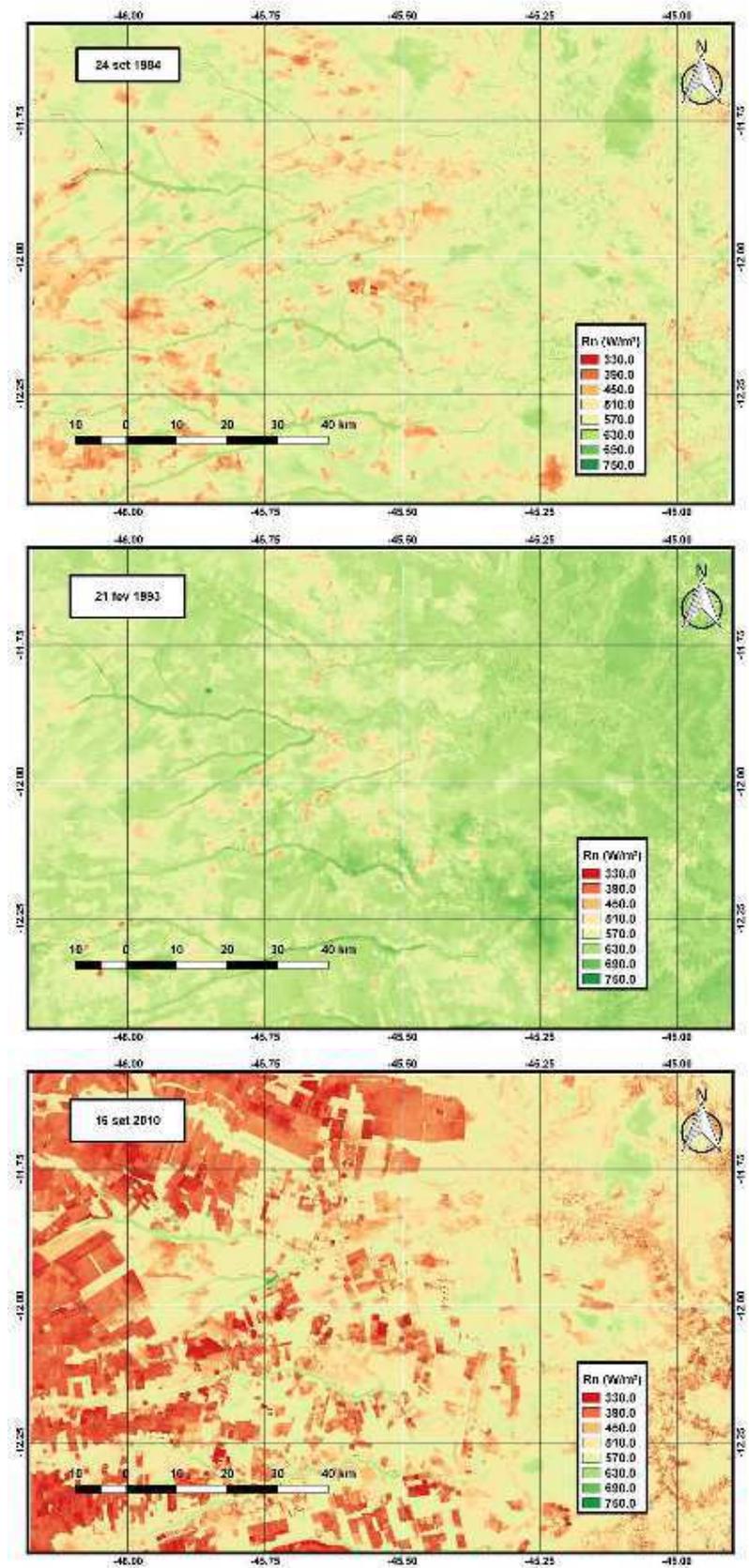


**Figura 5.12** – Mapas temáticos da LST (°C) obtidos com imagens Landsat 8 nas datas: 11 de outubro, 12 de novembro e 14 de dezembro de 2009.

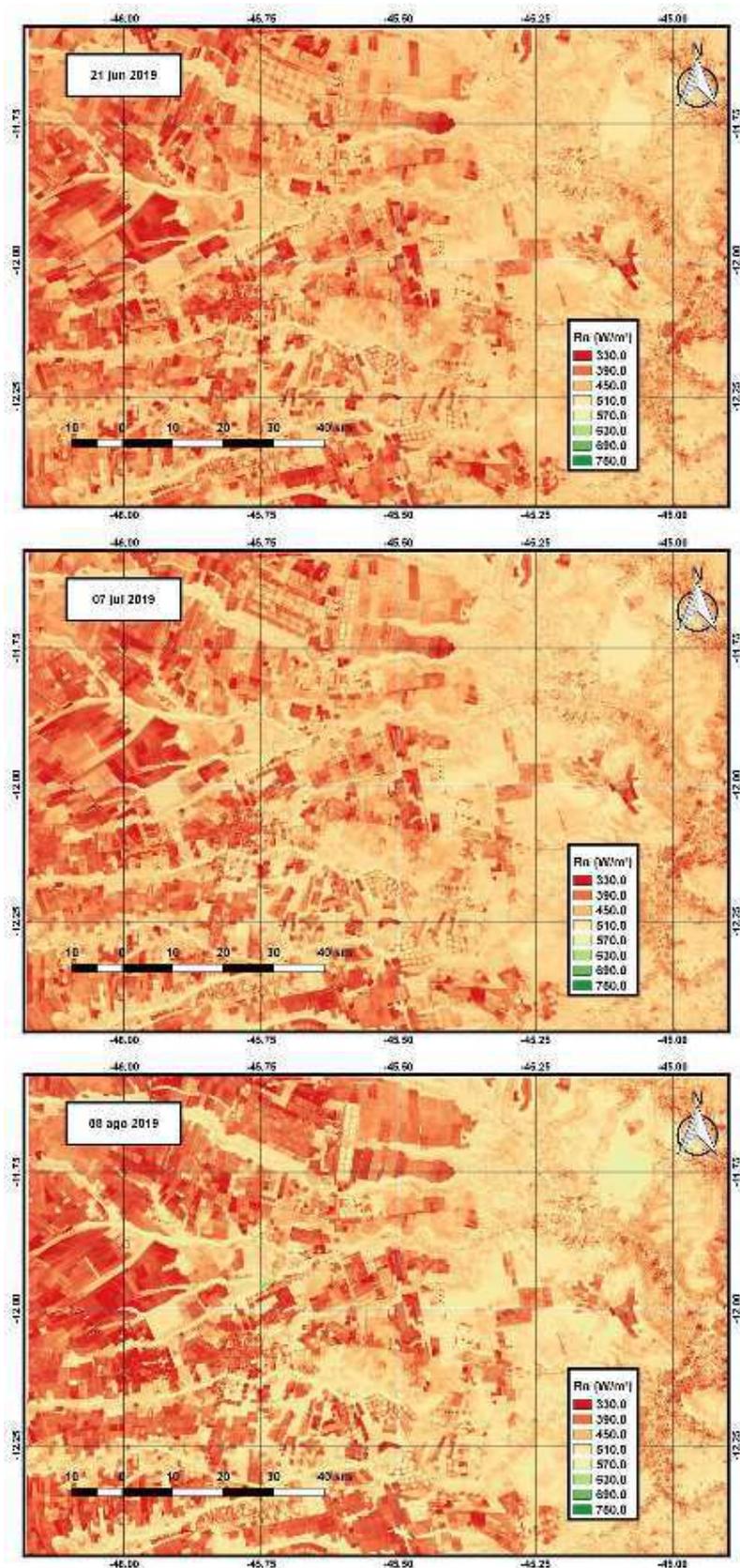
### 5.1.3 – Análise dos mapas temáticos do saldo de radiação

Nas Figuras 5.13 a 5.15 estão representados os mapas temáticos do saldo de radiação –  $R_n$  ( $W/m^2$ ) obtidos com imagens Landsat 5 e 8 entre os anos de 1984 e 2019. De acordo com a equação empregada para se contabilizar  $R_n$ , fica claro que essa importante variável depende fortemente da radiação solar incidente –  $R_{oc,inc}$  ( $W/m^2$ ), mas também do albedo,  $LST$  ( $^{\circ}C$ ) e radiação de onda longa atmosférica –  $R_{ol,atm}$  ( $W/m^2$ ). Os padrões apresentados pelo saldo de radiação guardam boa relação com o albedo mas os valores se diferenciam bastante em virtude da influência marcante da radiação solar incidente. Se observa um grande contraste entre os menores e maiores valores, entre as datas e anos estudados. Na Figura 5.13, relativas aos anos de 1984, 1993 e 2010, se observa uma grande mudança entre os padrões e valores do  $R_n$  ( $W/m^2$ ) nos anos 1984 e 2010, ambos obtidos no mês de setembro, com valores da  $R_{oc,inc}$  ( $W/m^2$ ) muito semelhantes. No entanto, as mudanças verificadas no albedo em 2010 é que foram determinantes nos padrões e valores do  $R_n$  ( $W/m^2$ ) registrados naquele mesmo ano. Essas mudanças observadas entre 1984 e 2010 são consequência direta das mudanças no uso e ocupação verificados nesse período. Ainda na Figura 5.13, se faz sentir a influência do regime pluviométrico e a pequena diferença entre os valores do  $R_n$  ( $W/m^2$ ) evidenciam que essa estabilidade resulta da pouca interferência humana na área, diferentemente do observado no mapa de 2010 e nos de 2019. Nos meses em que a  $R_{oc,inc}$  ( $W/m^2$ ) é menor, que correspondem aos meses de junho a agosto, os mapas revelam valores entre  $330 W/m^2$  e  $400 W/m^2$ , mas que se reduzem ainda mais nas áreas antropizadas. O resultado da combinação de albedo elevado e NDVI reduzido, é o aumento da  $LST$  ( $^{\circ}C$ ) e consequente redução do  $R_n$  ( $W/m^2$ ), que fica evidente ao se avaliar esses mapas temáticos em conjunto.

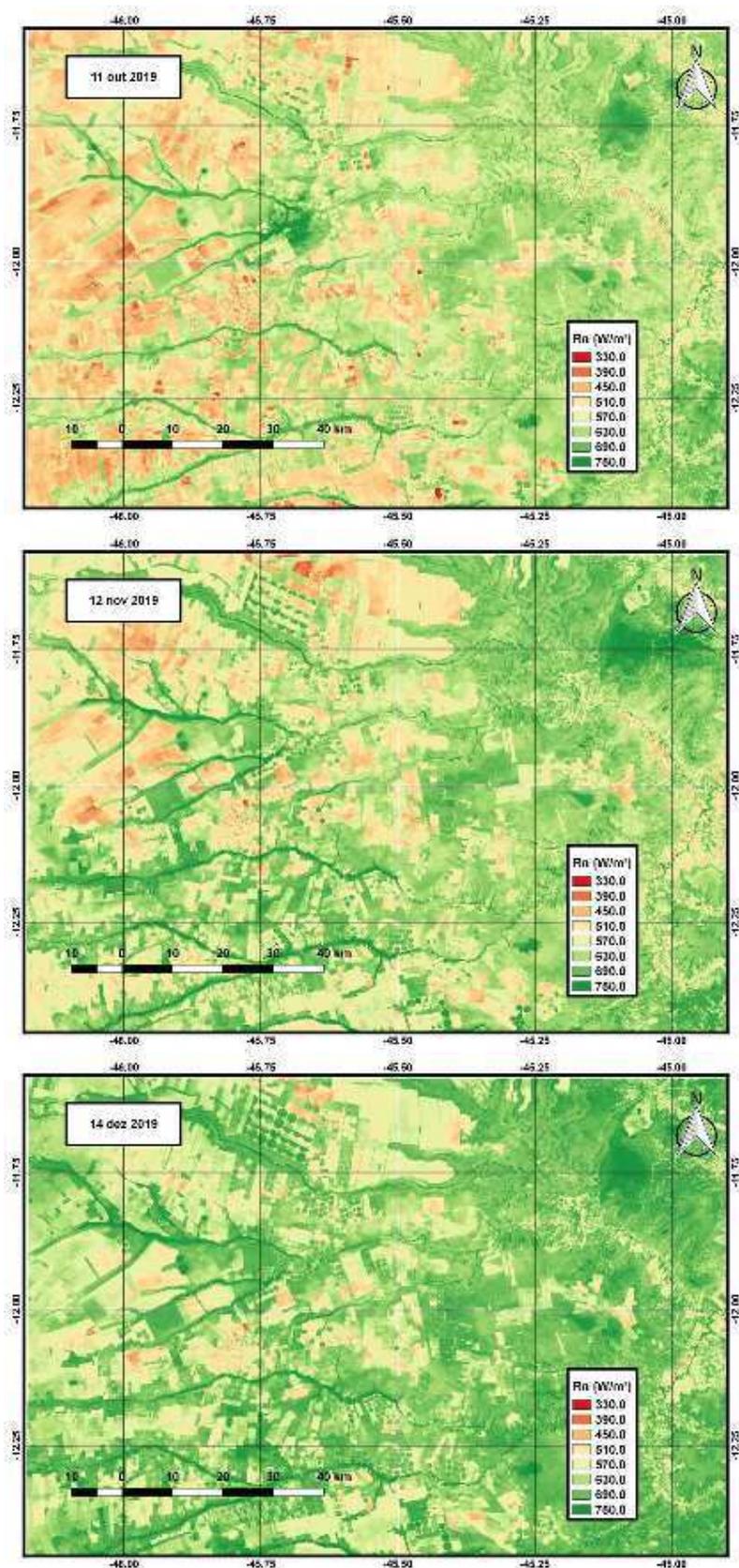
Na Figura 5.15 observa-se um grande contraste entre os valores do  $R_n$  ( $W/m^2$ ) numa mesma data, que registram pixels com valores menores que  $330 W/m^2$ , embora em menor quantidade, e a maioria dos mesmos com valores superiores a  $630 W/m^2$ , mais uma clara evidência das mudanças no uso e ocupação. Senão, comparem-se os mapas de 21 de fevereiro de 1993 representado na Figura 5.13 com os representados na Figura 5.15. O que se pretende avaliar mais adiante, é que consequências essas mudanças verificadas nos padrões das variáveis biofísicas contempladas com a pesquisa, podem estar causando no clima local, em especial na temperatura do ar e evapotranspiração de referência.



**Figura 5.13** – Mapas temáticos do saldo de radiação ( $W/m^2$ ) obtidos com imagens Landsat 5 nas datas 24 de setembro de 1984, 21 de fevereiro de 1993 e 16 de outubro de 2010.



**Figura 5.14** – Mapas temáticos do saldo de radiação ( $W/m^2$ ) obtidos com imagens Landsat 8 nas datas 21 de junho, 07 de julho e 08 de agosto de 2019.

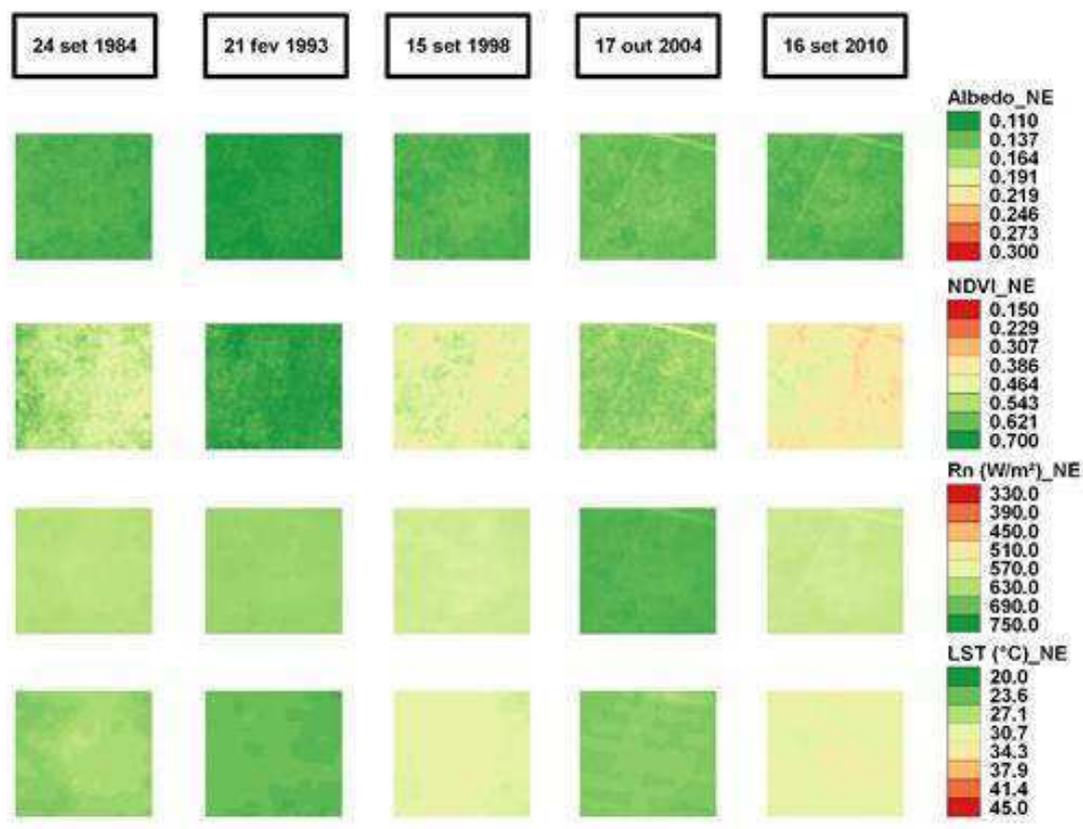


**Figura 5.15** – Mapas temáticos do saldo de radiação ( $W/m^2$ ) obtidos com imagens Landsat 8 nas datas 11 de outubro, 12 de novembro e 14 de dezembro de 2019.

Se depreende da análise dos mapas representados nas figuras apresentadas e, em especial, naquelas obtidas em 2019, que as culturas agrícolas e suas fenologias, são determinantes nos padrões apresentados pelas variáveis biofísicas investigadas, não obstante a influência da sazonalidade associada ao regime pluviométrico da área de estudo. Quando a cultura apresenta elevado NDVI, os valores do albedo e LST (°C) são bem menores do que os apresentados por áreas de pastagem nos meses secos do ano e nas áreas com cultivos com baixa cobertura vegetal. No entanto, na “mancha” de área preservada na porção nordeste dos mapas, se constata que as variações nos valores de todas as variáveis estudadas são muito menos acentuadas, e que resultam basicamente do regime pluviométrico e sazonalidade das demais variáveis meteorológicas, em especial da radiação solar.

## 5.2 - Evolução dos mapas temáticos das variáveis selecionadas nos plots selecionados

Nas Figuras 5.16 a 5.22 estão representados os recortes dos mapas temáticos de cada variável estudada, obtidos com cinco imagens do Landsat 5 (1984 a 2010). Já as Figuras 5.23 a 5.29 representam a evolução temporal das variáveis biofísicas das doze imagens do Landsat 8 obtidas no ano de 2019. Na horizontal estão distribuídos os recortes de cada variável relativos a cada uma das datas, e ao final de cada linha a escala com as classes e seus respectivos intervalos, todos iguais para possibilitar uma melhor comparação entre as datas. Inicialmente, são apresentados os plots dos mapas temáticos do albedo, obtidos entre 1984, 1993, 1998 e 2010, no plot Nordeste.

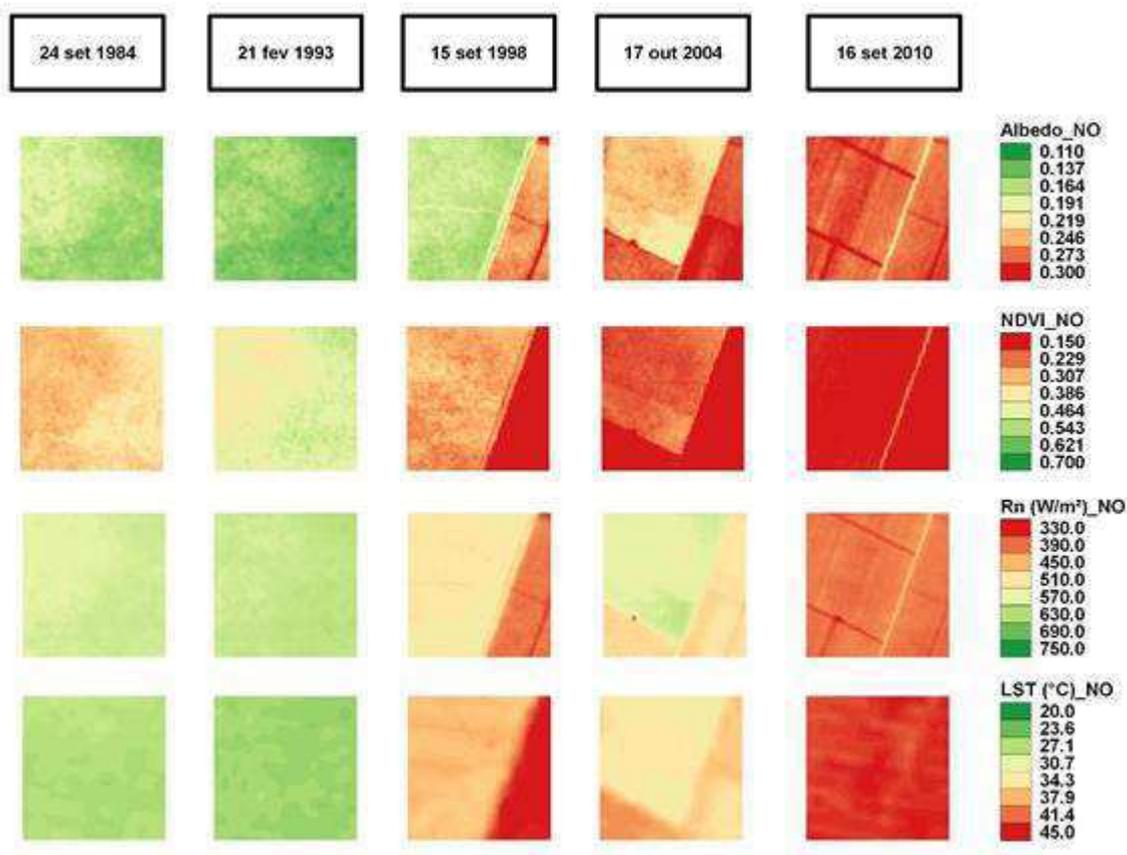


**Figura 5.16** – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m<sup>2</sup>) e temperatura da superfície - LST (°C) no plot **Nordeste**, obtidos com imagens Landsat 5.

Observa-se que há pouca variabilidade no albedo cujos valores se situaram entre 0,13 e 0,15. Já se percebe nos plots de 2004 e 2010 linhas que correspondem a presença humana nas áreas, provável delimitação de propriedades rurais, mas sem indicação de cultivos implantados. O NDVI revela de modo mais nítido as diferenças entre as datas, e a influência do regime pluviométrico, vez que no mês de setembro há uma clara diminuição do NDVI associado à redução na umidade do solo.

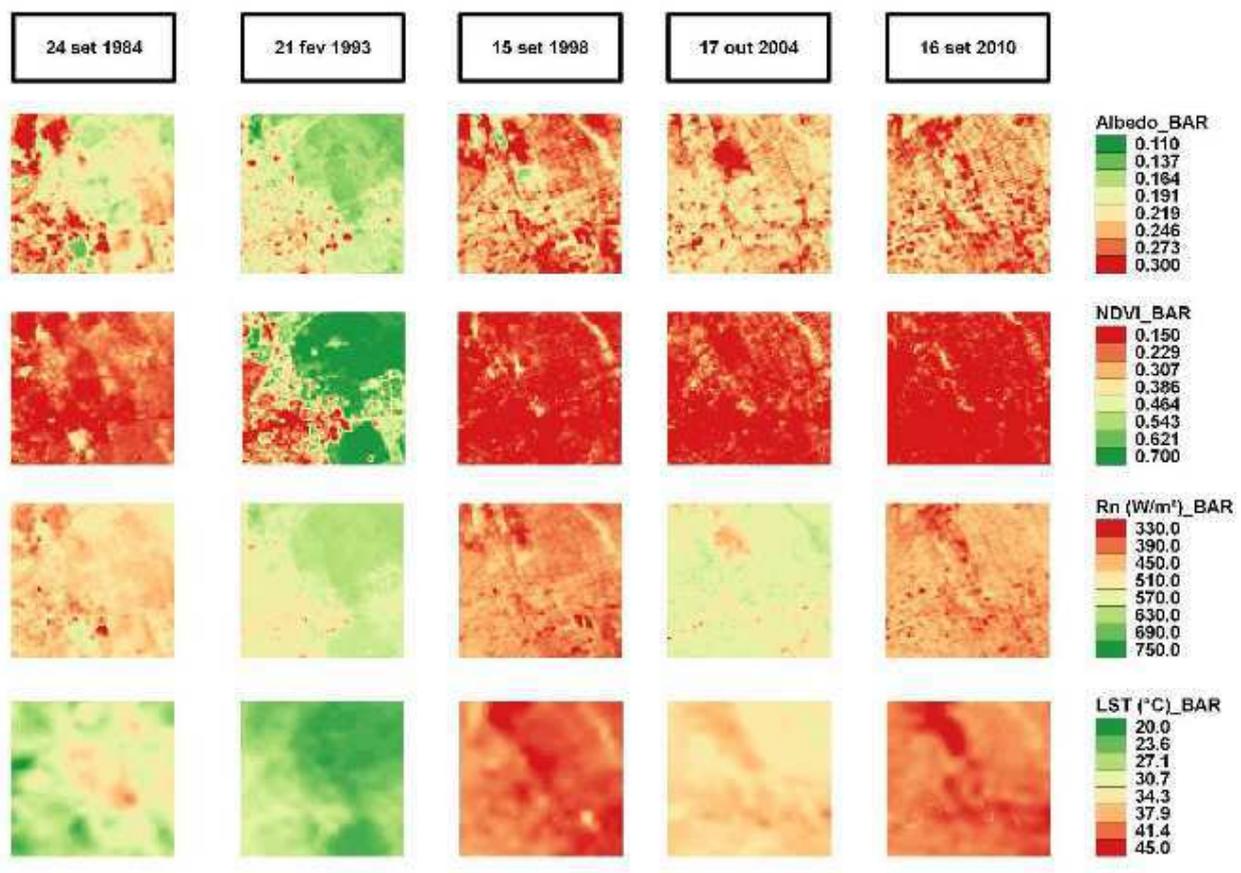
No plot Nordeste (NE) representado na Figura 5.16, da data 21 de fevereiro de 1993, mês da estação chuvosa, os valores do NDVI respondem com valores bem mais expressivos. Os padrões apresentados pelo saldo e também pela LST (°C) também revelam a influência da estação chuvosa, em conjunção com a contribuição da radiação solar. Os maiores valores do saldo são verificados em 1993 e 2004, correspondentes aos meses de fevereiro e outubro, respectivamente. Já os maiores valores da LST (°C) ocorreram no mês de setembro, consequência da umidade do solo, por se tratar de ser esse mês integrante da estação seca local.

O plot Noroeste (NO), representado na Figura 5.17 já revelava presença de atividade humana na cena de 1998, com padrões de todas as variáveis compatíveis com áreas urbanizadas. Outro destaque desse plot é que o mesmo foi submetido a recortes com talhões agrícolas que resultaram em valores muito elevados da LST (°C), especialmente em setembro de 1998 e 2010, consequência da influência do regime pluviométrico e provavelmente do calendário agrícola, com grande exposição do solo e consequente diminuição no NDVI e saldo de radiação, e aumento no albedo e LST (°C).



**Figura 5.17** – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m²) e temperatura da superfície - LST (°C) no plot **Noroeste**, obtidos com imagens Landsat 5.

Na Figura 5.18 estão representados os padrões e valores das variáveis biofísicas em Barreiras, zona urbana já bem estabelecida em 1984. Exceto em fevereiro de 1993, mês chuvoso, os valores do albedo são substancialmente superior aos 20 %, enquanto que o NDVI se mostrou abaixo de 0,25. Como resultado desse processo de urbanização, os valores do saldo se mostram comparativamente aos demais plots bem menores, o que resulta da combinação de valores elevados do albedo e LST ( $^{\circ}\text{C}$ ), e redução do NDVI. Essas particularidades são igualmente observadas em Luís Eduardo Magalhães (BA), representadas na Figura 5.19, porém de forma menos intensa nas datas de 1984 e 1993. Esses padrões urbanos se consolidam a partir de 1998, como será visto também nas imagens de 2019.

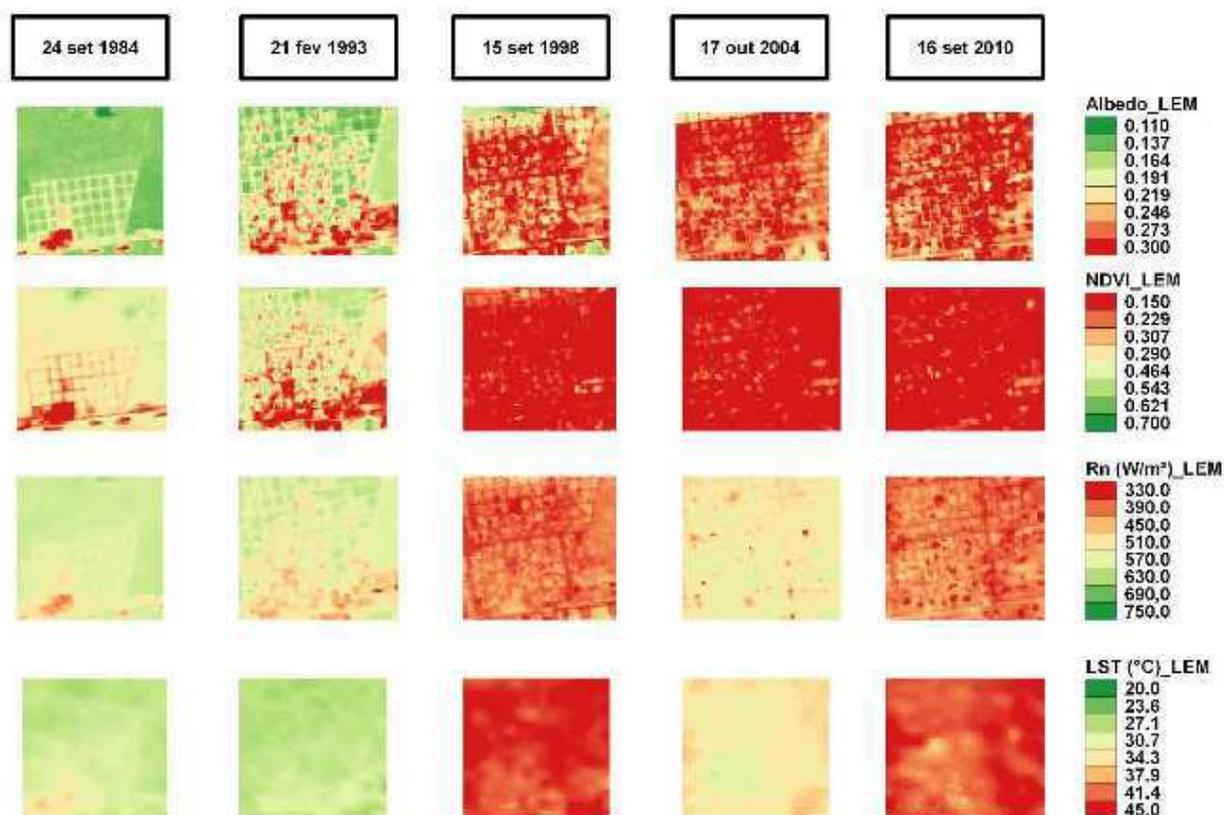


**Figura 5.18** – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) e temperatura da superfície - LST ( $^{\circ}\text{C}$ ) no plot **Barreiras (BA)**, obtidos com imagens Landsat 5.

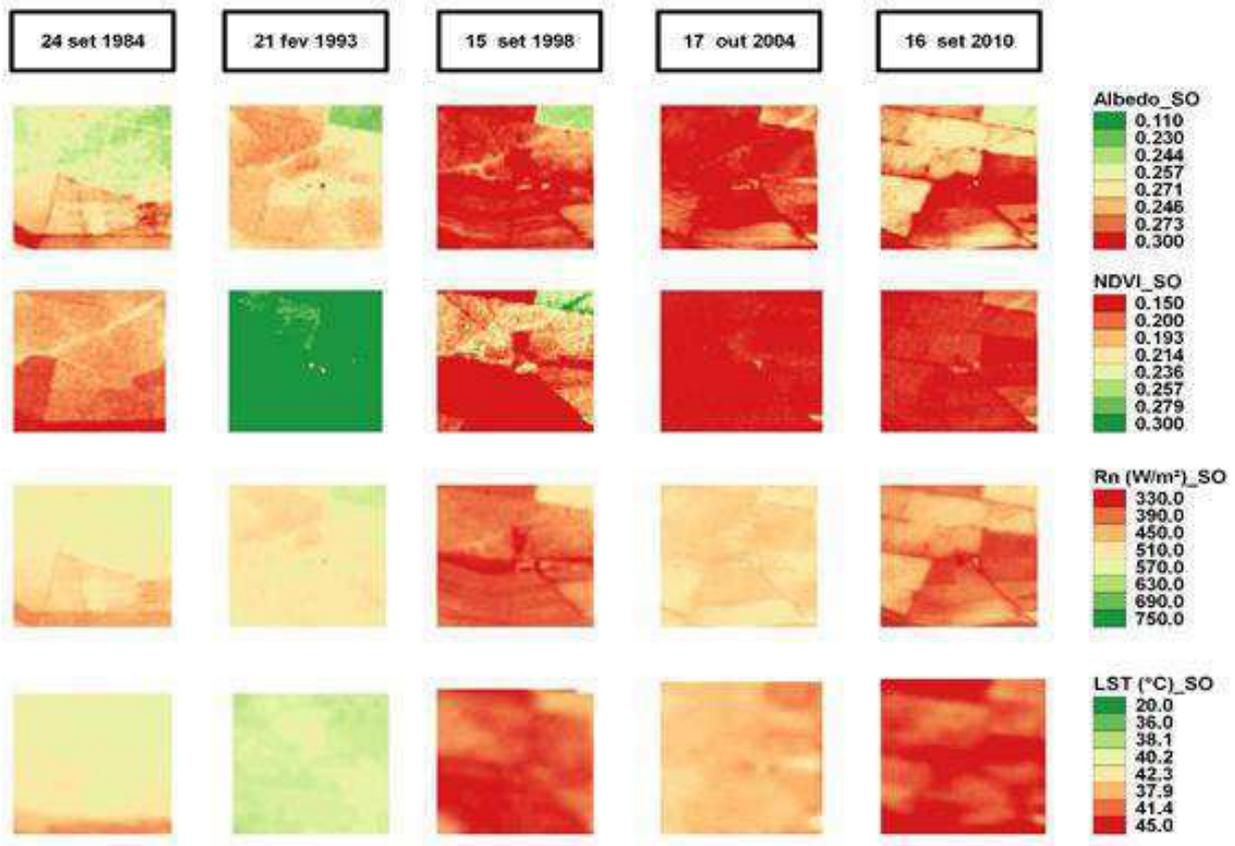
Outra situação merecedora de destaque é que foi observada no plot Pivô, que ainda não tinha sido instalado em 1984, e que nas datas seguintes fica nítida a presença dos pivôs. Em fevereiro de 1993, mesmo compreendendo um mês bastante chuvoso, nas áreas inter pivôs se nota a influência da

estação chuvosa, com valores baixos do albedo e comparativamente elevados do NDVI, mas no interior dos pivôs se constata a presença de valores mais elevados do albedo e diminuição do NDVI.

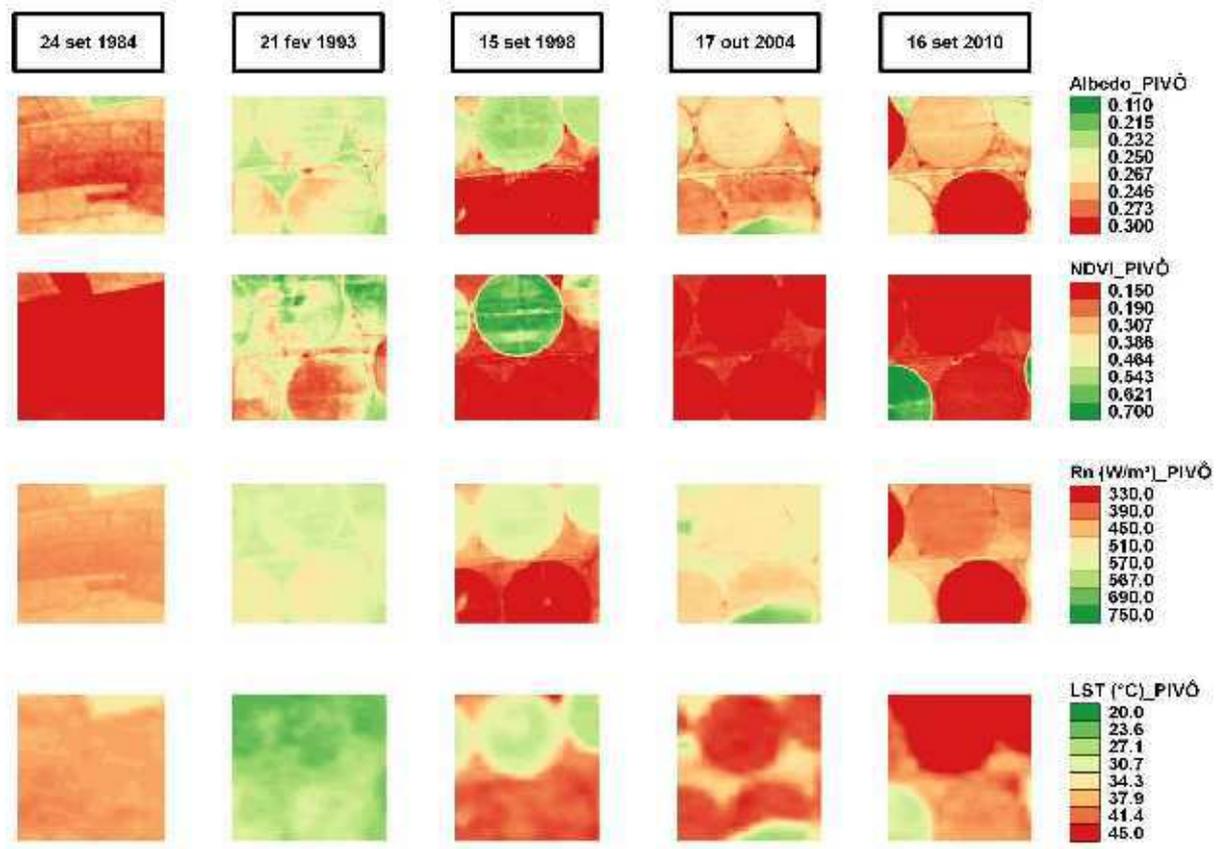
Em 15 de setembro de 1998 se observa um grande contraste entre os pivôs desse plot, também muito nítido em 16 de setembro de 2010, com valores do albedo abaixo de 0,20 em 1998, contrastando com valores maiores que 0,30 nos pivôs contíguos. O mesmo se observa com o NDVI, com valores menores que 0,150 em contraste com áreas com valores superiores a 0,700. Os contrastes observados no saldo de radiação são de 330 W/m<sup>2</sup> a 400 W/m<sup>2</sup>, aproximadamente, em 1998. Muito curioso é o que se observou em 17 de setembro em que os valores do NDVI se mostraram inferiores a 0,150 no interior dos pivôs e visivelmente menores nas áreas situadas entre os pivôs. Esses padrões provocam LST (°C) no interior dos pivôs com valores entre 40-45 °C, e entre os pivôs valores bem menores. Uma constatação relevante é a de que o estágio fenológico das culturas e o calendário agrícola se sobrepõem aos efeitos do regime pluviométrico da região, o que provoca aumento no albedo e LST (°C) e redução nos valores do NDVI e saldo de radiação (W/m<sup>2</sup>).



**Figura 5.19** – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m<sup>2</sup>) e temperatura da superfície - LST (°C) no plot **Luís Eduardo Magalhães (BA)**, obtidos com imagens Landsat 5.

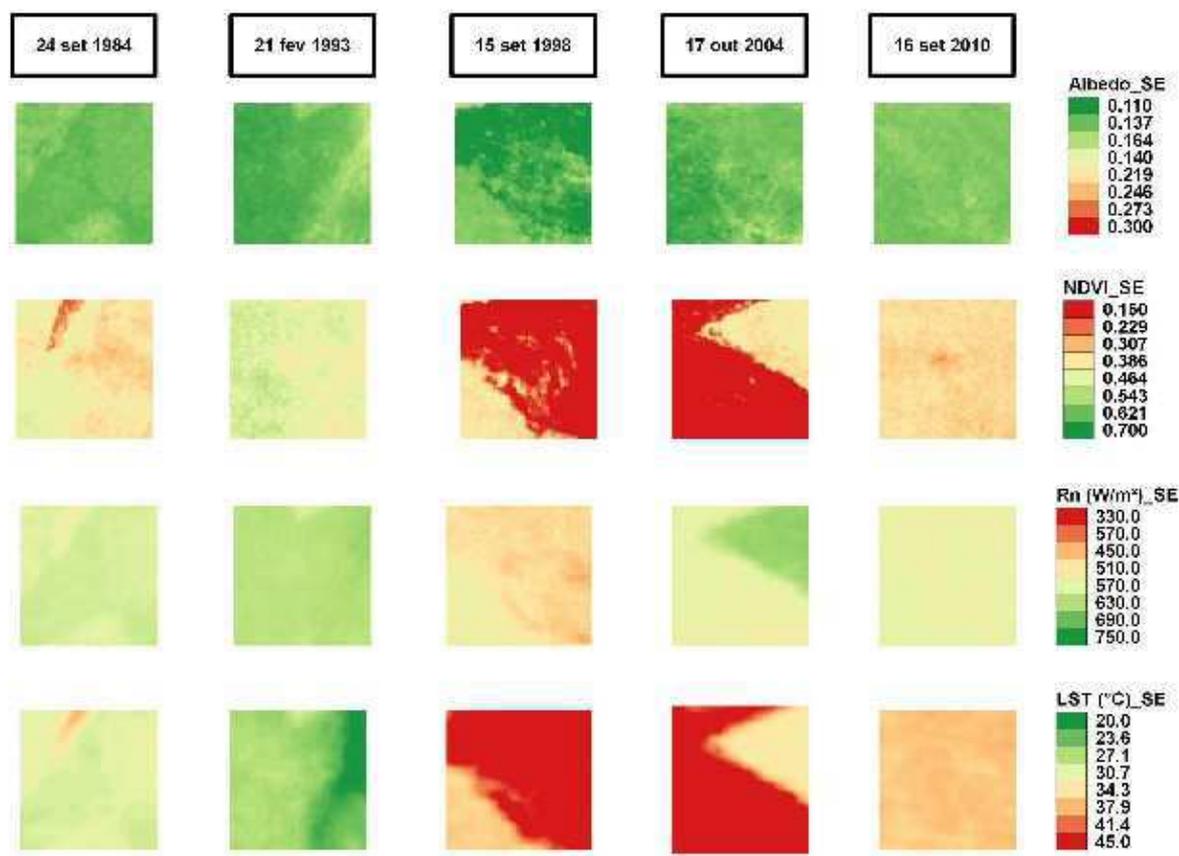


**Figura 5.20** – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m<sup>2</sup>) e temperatura da superfície - LST (°C) no plot **Sudoeste**, obtidos com imagens Landsat 5.



**Figura 5.21** – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação – Rn ( $W/m^2$ ) e temperatura da superfície - LST ( $^{\circ}C$ ) no plot **Pivô**, obtidos com imagens Landsat 5.

Na Figura 5.22 estão representados os padrões apresentados pelas variáveis biofísicas estudadas no plot de uma área que não evidencia ter sido antropizada no período coberto pela pesquisa, com a introdução de culturas agrícolas irrigadas, não obstante em 17 de outubro de 2004 aparecer demarcações que indicam uma possível utilização para pastagem. De qualquer modo, os padrões e valores do albedo se mostraram bastante estáveis não revelando com o albedo sinais da interferência do regime pluviométrico. No entanto, há grandes contrastes entre os valores do NDVI observados nas cenas de 1998 e 2004, e de modo igualmente relevantes, nas cenas da LST ( $^{\circ}C$ ), com valores contrastantes indo de  $30^{\circ}C$  a mais de  $45^{\circ}C$ . Uma provável consequência do regime pluviométrico se revela nos recortes do saldo de radiação ( $W/m^2$ ) e da LST ( $^{\circ}C$ ).



**Figura 5.22**– Evolução dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn ( $W/m^2$ ) e temperatura da superfície - LST ( $^{\circ}C$ ) no plot **Sudeste**, obtidos com imagens Landsat 5.

Nas Figuras 5.23 a 5.29 foram representados os recortes dos mapas temáticos das variáveis estudadas, obtidas nas 12 imagens do Landsat 8 obtidas em 2019. Pode-se perceber que há uma clara contribuição das estações do ano nos plots preservados, caso do Nordeste representado na Figura 5.25 e Sudeste representado na Figura 5.29. Como no caso das imagens Landsat 5, os valores do Rn ultrapassaram  $765 W/m^2$ , mas o albedo se manteve baixo, menor que 15%, com valores do NDVI sempre maiores que 0,50. A LST ( $^{\circ}C$ ) de fevereiro a julho se manteve abaixo dos  $20^{\circ}C$ , uma clara influência do regime pluviométrico. Essa influência se manifesta também em outras variáveis, especialmente o NDVI e Rn ( $W/m^2$ ). Já o saldo de radiação ( $W/m^2$ ), embora também esteja sob a influência do regime pluviométrico, recebe grande dependência da radiação solar incidente. Isso fica evidenciado na evolução dos recortes apresentados na Figura 5.23. Os menores valores do saldo corresponderam aos meses com menor oferta da radiação solar, enquanto os maiores nos meses com maior radiação solar. Os maiores valores da LST ( $^{\circ}C$ ) sempre se situaram abaixo de  $34^{\circ}C$ , reflexo da sazonalidade e não antropização da área. No plot Noroeste (NO) representado na Figura 5.24 pode se observar uma grande variação nos valores do NDVI, LST ( $^{\circ}C$ ) e saldo de radiação ( $W/m^2$ ) apenas nos duas primeiras datas, e nas demais prevalece a influência do uso e ocupação, que mesmo nos

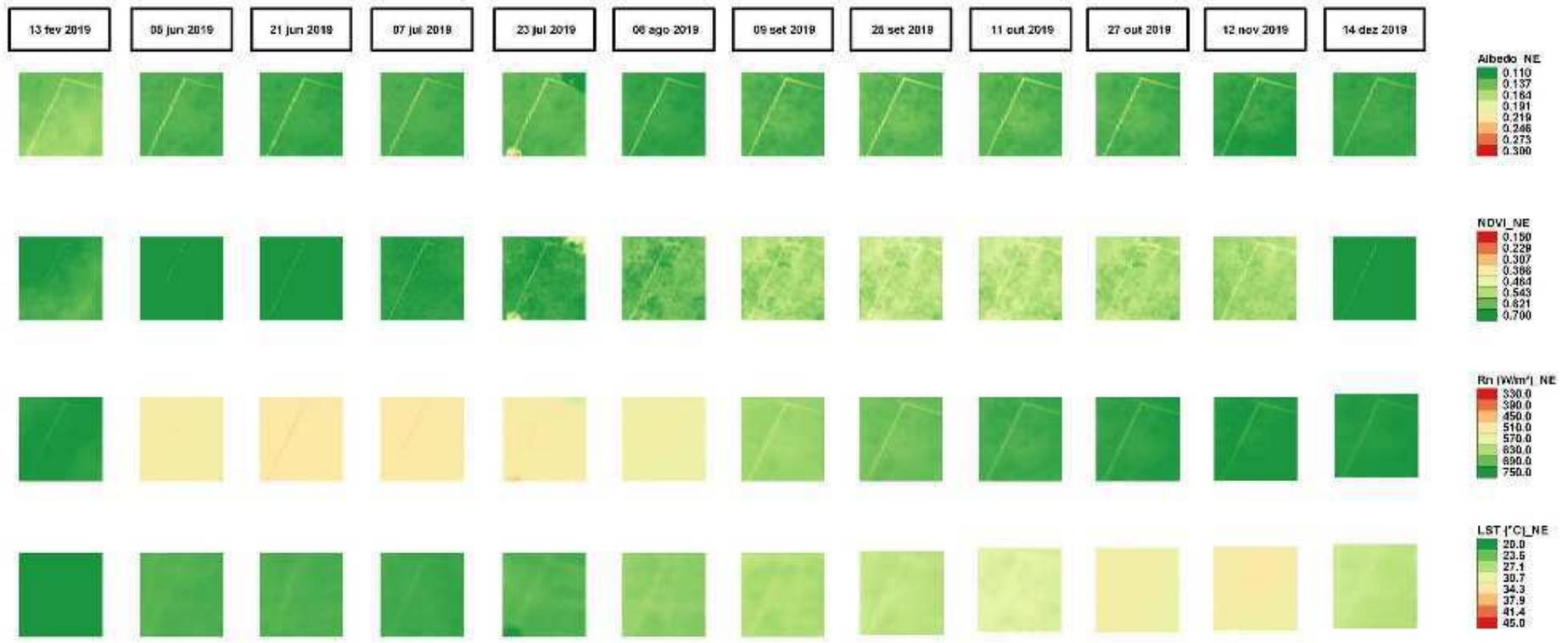
últimos meses do ano, em plena estação chuvosa, apresentam valores do NDVI, LST (°C) e saldo de radiação ( $W/m^2$ ) compatíveis com áreas antropizadas e fortemente dependentes do estágio fenológico das culturas.

Nas Figuras 5.25 e 5.26 estão representados os recortes dos plots de Barreiras (BA) e Luís Eduardo Magalhães (BA). Percebeu-se que há grande estabilidade nos valores do albedo, embora sempre acima de 25,5% e NDVI. Os padrões observados em Barreiras são muito semelhantes aos observados também em LEM, como pode ser constatado através da Figura 5.28. Eles retratam situações típicas de áreas urbanas, que em geral não refletem a sazonalidade do regime de chuvas.

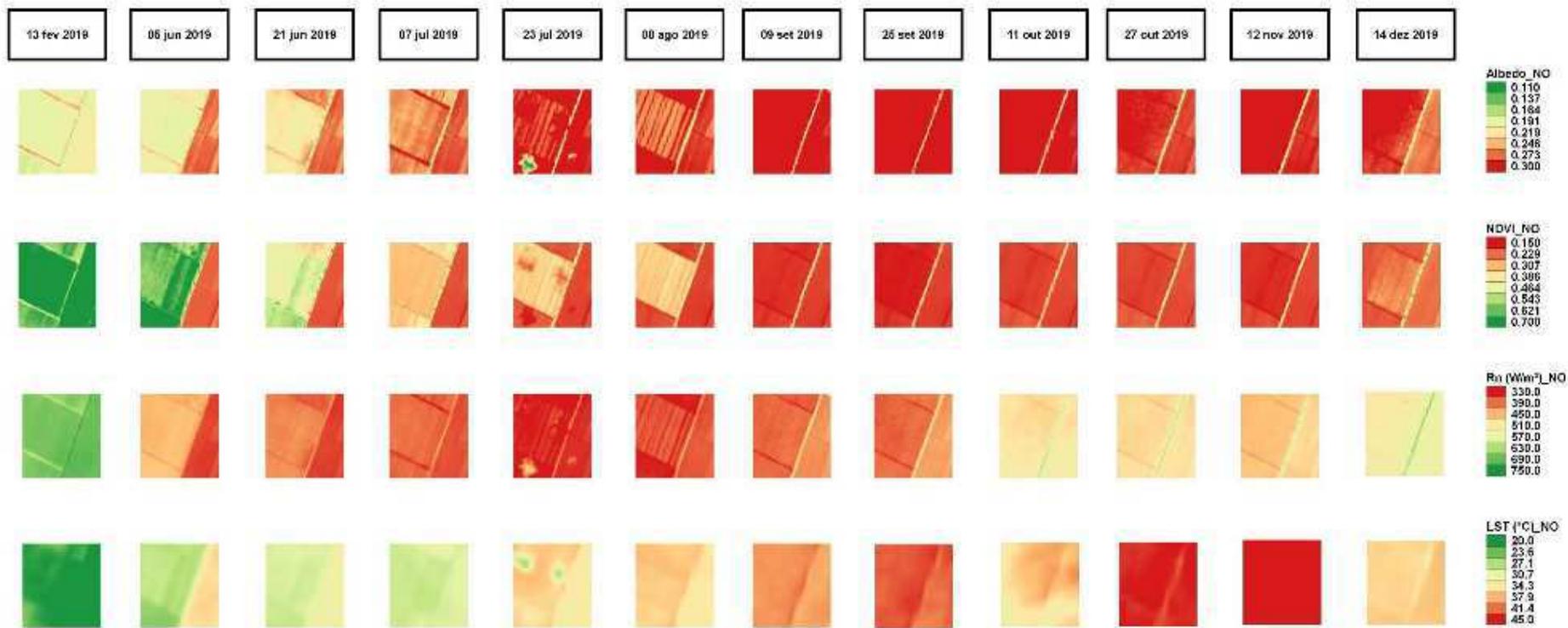
As maiores flutuações nas variáveis biofísicas estudadas são observadas no plot Pivô, representadas na Figura 5.28. Há grandes mudanças em todas as variáveis selecionadas para a pesquisa, e o albedo, por exemplo, hora fica abaixo de 0,196, hora ultrapassa os 0,331, o que revela uma grande exposição e aquecimento do solo, chegando a apresentar valores da LST acima de 45 °C. O saldo de radiação em fevereiro apresentou valores maiores que  $644 W m^{-2}$ , e nas cenas de junho, se reduz e registra valores menores que  $435 W m^{-2}$ .

Fica evidente que os plots que mais evidenciaram o antropismo agrícola foram o NO, SO e ainda mais fortemente o PIVÔ. Todas as variáveis biofísicas estudadas responderam de modo nítido a essas mudanças no uso e ocupação, e claro que as duas áreas urbanas também, mas sem mostrar qualquer novidade, vez que as mesmas impactam o albedo e a LST de modo bastante conhecido.

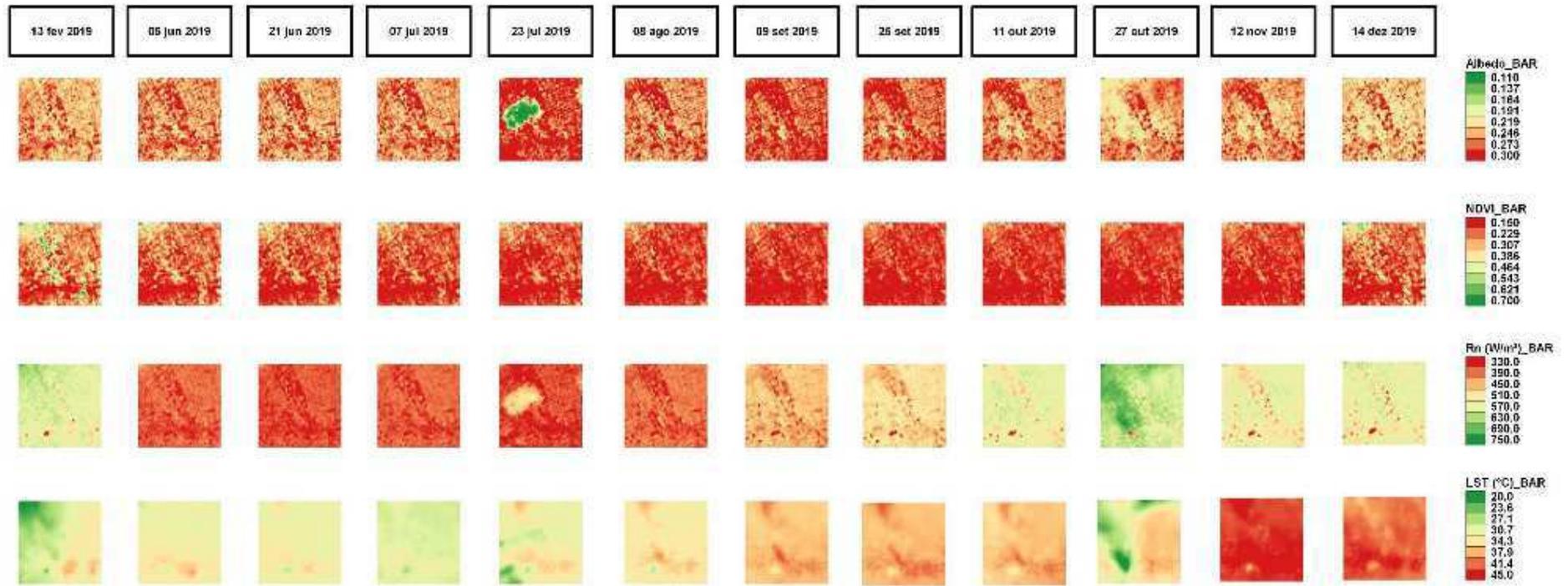
Também se destaca que os plots NE e SE foram os que se mostraram mais estáveis e que responderam claramente à sazonalidade do regime de chuvas da área. Resta saber se as grandes mudanças que estão se processando na maior parte do recorte de estudo, já seriam suficientes para impactar variáveis meteorológicas, especialmente a temperatura do ar, como será avaliado mais adiante.



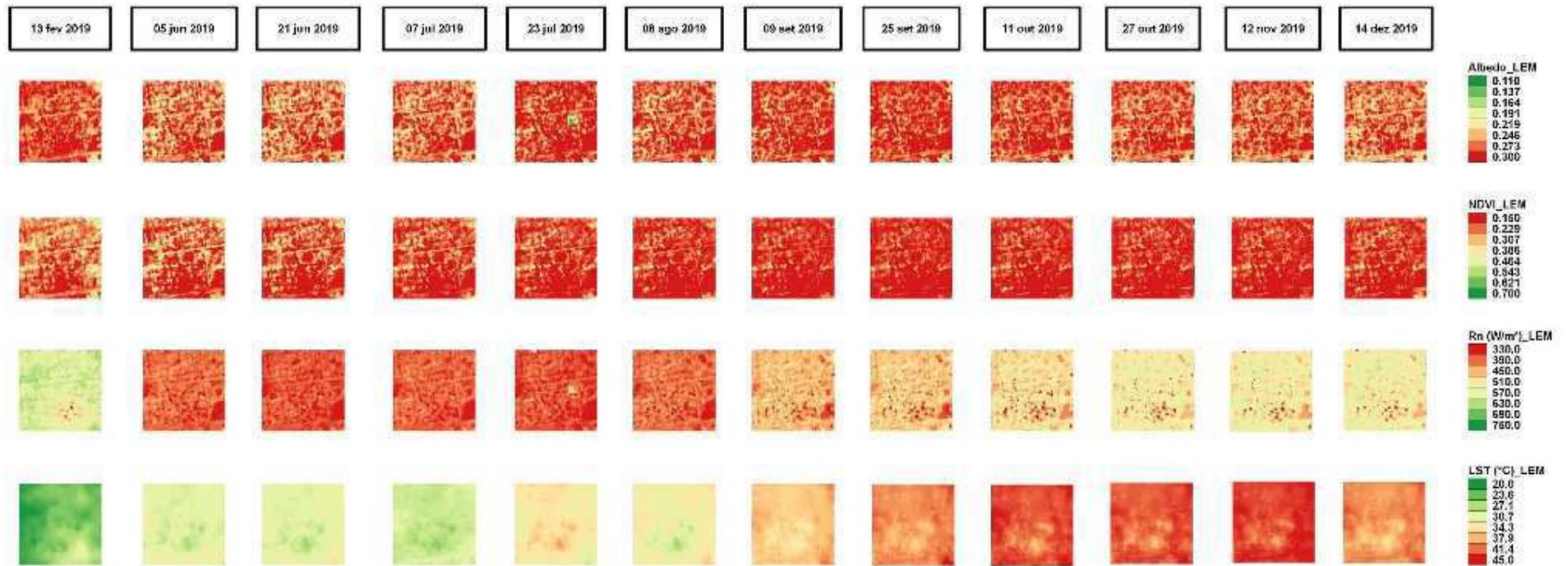
**Figura 5.23** – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m<sup>2</sup>) e temperatura da superfície - LST (°C) no plot **Nordeste**, obtidos com imagens Landsat 8.



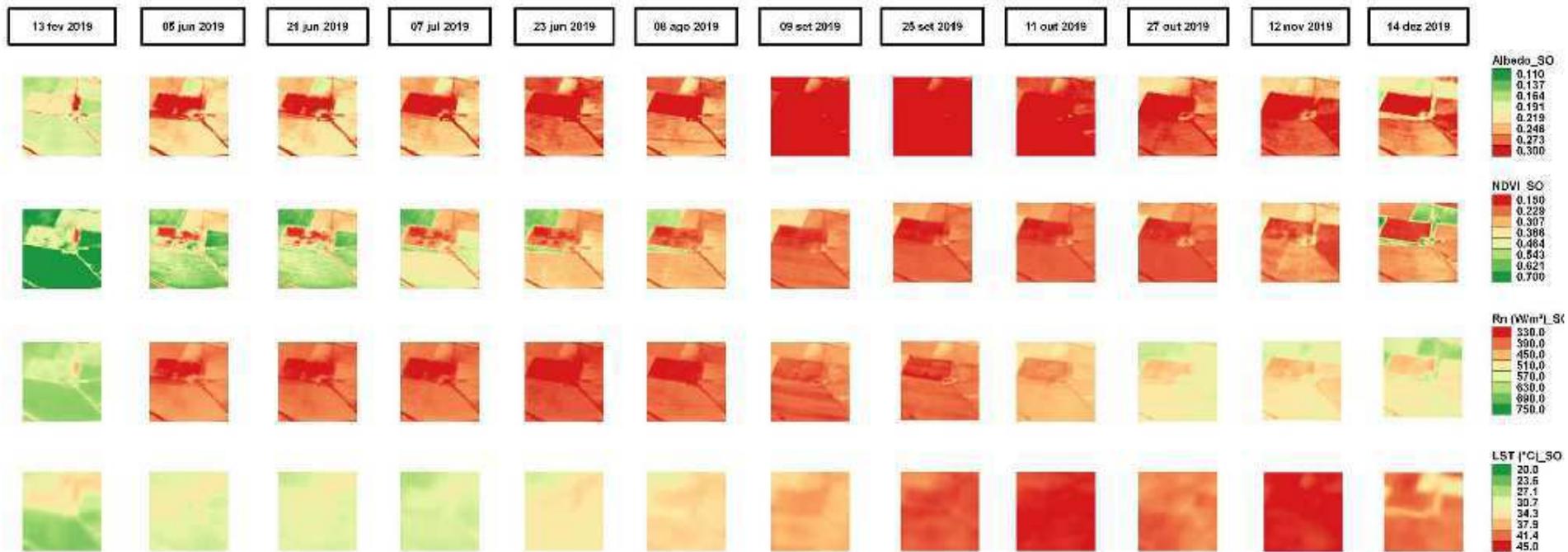
**Figura 5.24** – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m<sup>2</sup>) e temperatura da superfície - LST (°C) no plot **Noroeste**, obtidos com imagens Landsat 8.



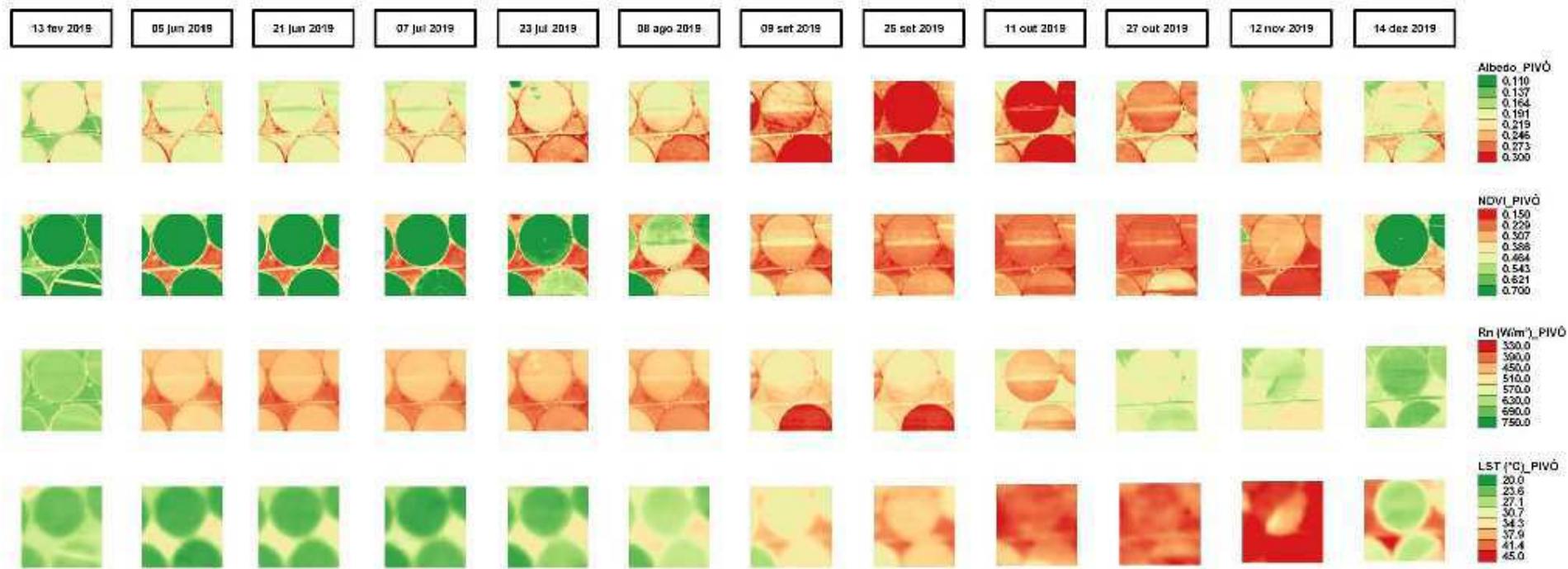
**Figura 5.25** – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m<sup>2</sup>) e temperatura da superfície - LST (°C) no plot **Barreiras (BA)**, obtidos com imagens Landsat 8.



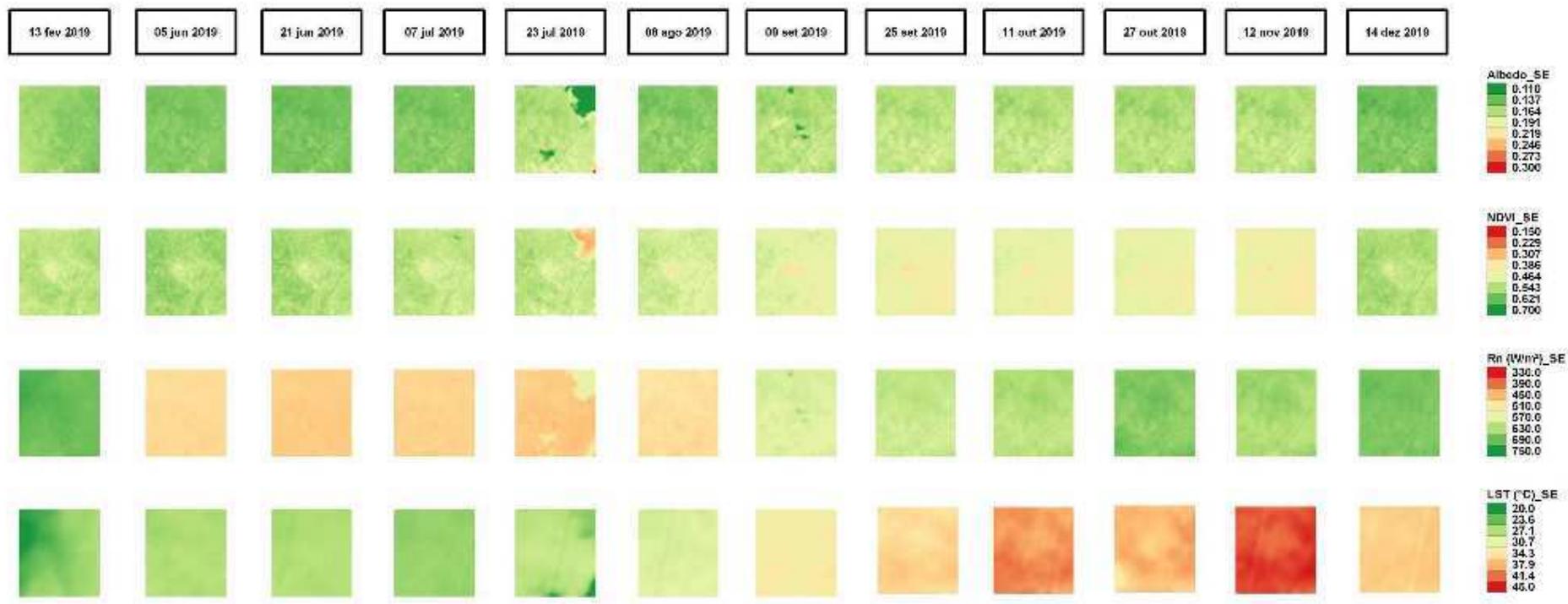
**Figura 5.26** – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m<sup>2</sup>) e temperatura da superfície - LST (°C) no plot Luís Eduardo Magalhães (BA), obtidas com imagens Landsat 8.



**Figura 5.27** – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m<sup>2</sup>) e temperatura da superfície - LST (°C) no plot **Sudoeste**, obtidos com imagens Landsat 8.



**Figura 5.28** – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m<sup>2</sup>) e temperatura da superfície - LST (°C) no plot **Pivô**, obtidas com imagens Landsat 8.



**Figura 5.29** – Evolução temporal dos mapas temáticos do albedo, NDVI, saldo de radiação - Rn (W/m<sup>2</sup>) e temperatura da superfície - LST (°C) no plot **Sudeste**, obtidas com imagens Landsat 8.

### 5.3 – Representação da média espacial das variáveis estudadas entre 1984 a 2019

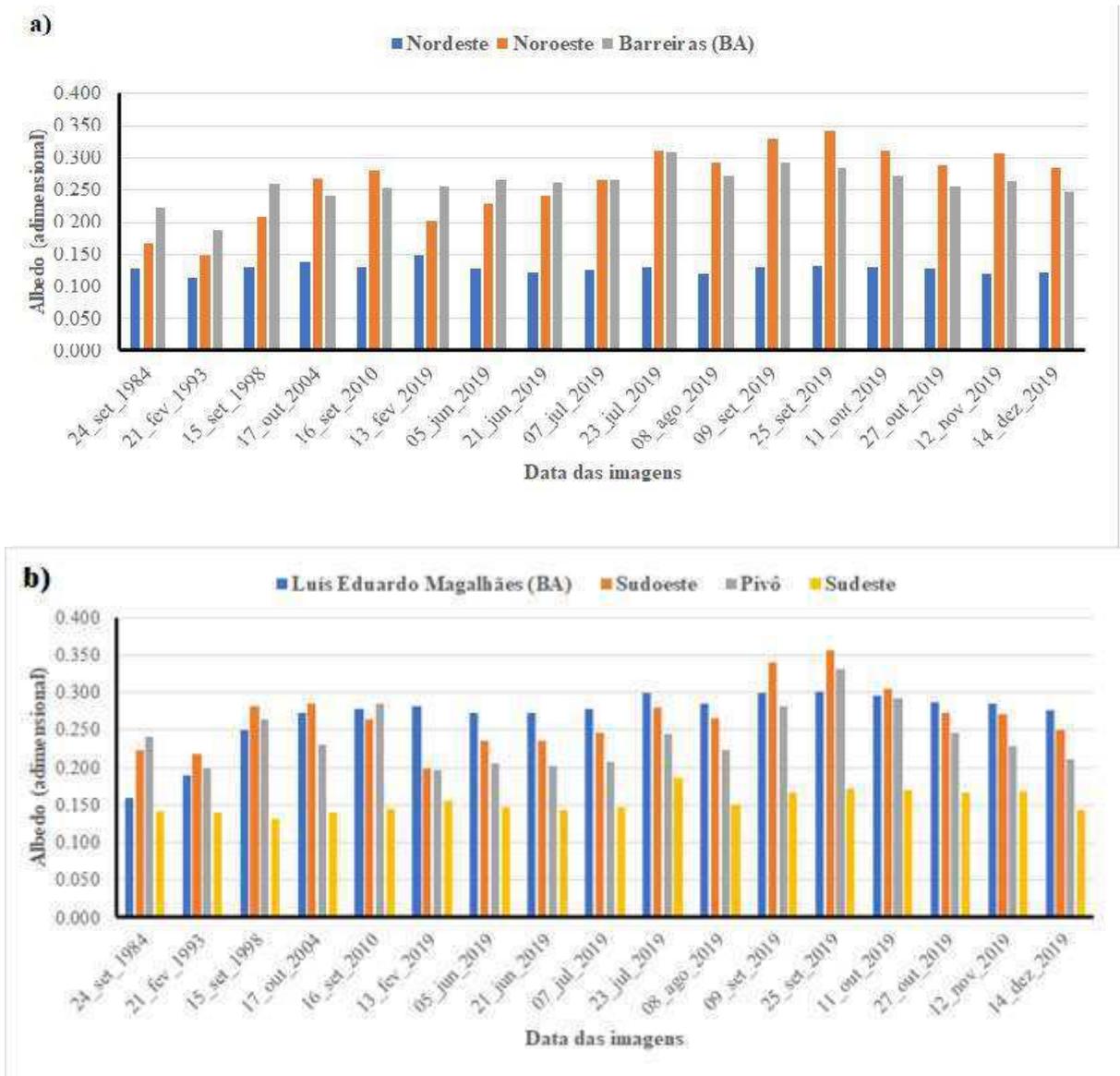
Nos gráficos da Figura 5.30, estão representadas as médias espaciais do albedo para os sete recortes, ou plots, selecionados para a pesquisa, a fim de se avaliar a sua evolução temporal. Percebe-se, claramente, que o albedo dos plots Nordeste e Sudeste são o que apresentam os menores valores e pouca variabilidade temporal, ou seja, grande estabilidade, que deve estar associada à sua condição de não antropização. No entanto, no caso do plot Sudeste, se observa uma pequena elevação no albedo obtido na imagem de 21 de junho de 2019. Ao se deter sobre aquela imagem, constatou-se que esse aumento não representava o albedo da superfície, mas sim a existência de nuvens sobre o referido plot. As médias do albedo apresentadas pelas áreas dos municípios de Barreiras (BA) e Luís Eduardo Magalhães (BA) apresentam-se elevados e com acentuada estabilidade. Já as áreas que apresentaram maiores flutuações são aquelas dos plots com maior presença e possível rotação de cultivos, quais sejam, Noroeste, Pivô e Sudoeste. Deve-se destacar que nesses plots os valores do albedo chegam a superar os das áreas urbanas e por vezes chegaram a ultrapassar os 0,300.

Nos plots relativos aos dados da NDVI, as maiores flutuações foram registradas nos plots Noroeste, Sudoeste e Pivô, e as com menores flutuações e maiores valores médios foram os Nordeste e Sudeste, embora em setembro de 2010 tenha ocorrido um valor muito baixo no Nordeste, possivelmente devido a presença de algum tipo de nuvem. Como esperado, nas áreas urbanas os valores da NDVI se mostraram bastante reduzidos, exceto na data 21 de fevereiro de 1993. Uma inspeção do shape desse plot projetado sobre a imagem falsa cor indica claramente se tratar, naquela data, de área com grande presença de vegetação, o que se coaduna com os dados do NDVI, albedo e LST. Logo, naquela ocasião o plot não representava adequadamente a área urbana de Barreiras (BA).

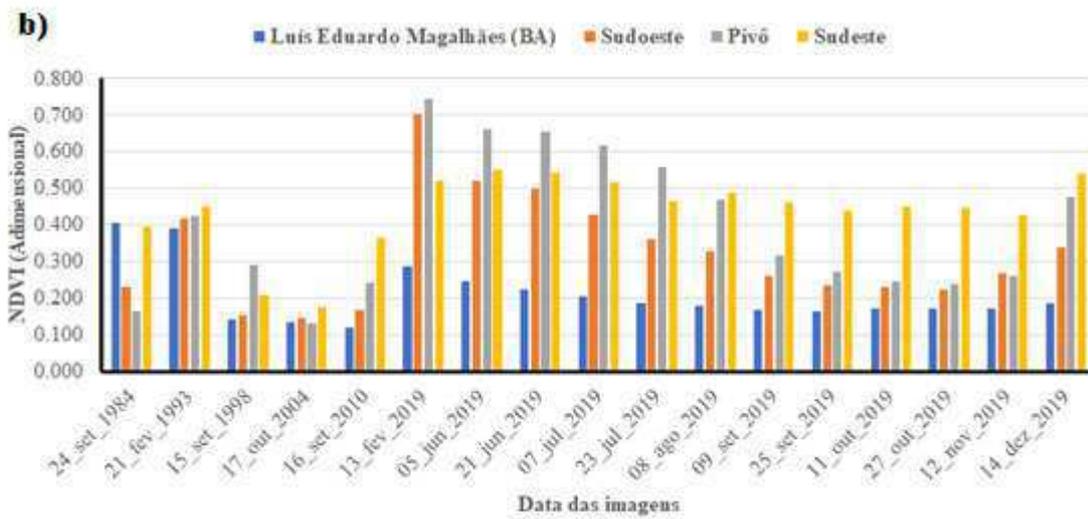
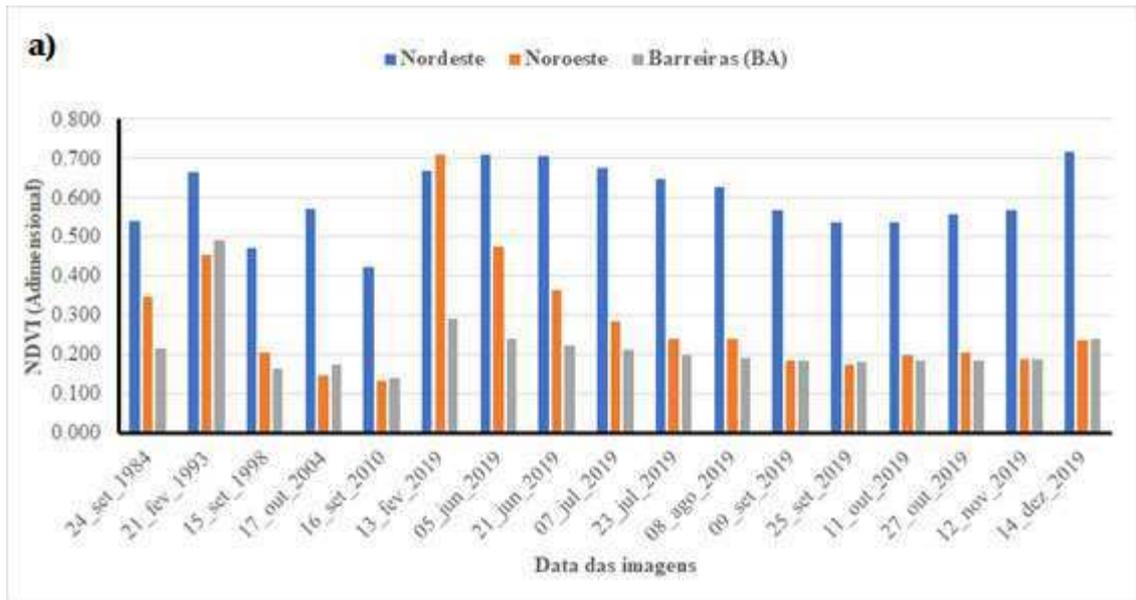
Uma vez mais, os padrões de maior estabilidade e maiores valores foram observados nos plots Nordeste (NE) e Sudeste (SE) na Figura 5.31, embora em Barreiras (BA) e Luís Eduardo Magalhães (BA) tenham registrado estabilidade, mas com valores muito baixos, o que era de se esperar. Deve-se registrar que a escolha dos plots nos municípios pode ou não revelar grandes mudanças ao longo do tempo. Foi possível observar em Barreiras que uma área que se encontrava com valores elevados do NDVI em 1984, já se mostrava antropizada nas imagens seguintes. No caso do plot Pivô, fica mais evidente a questão do ciclo e fenologia das culturas instaladas nesse regime de irrigação. Na maioria desses pivôs se concentram as culturas da soja e algodão, ambas de ciclo curto. Como se observará mais adiante, isso ficará ainda mais nítido, por ocasião das análises dos gráficos da evolução temporal do NDVI, obtidos no SatVeg da Embrapa.

Em cinco datas a LST (°C) ultrapassou, nos plots Noroeste (NO) e Sudoeste (SO), os 40 °C, e as maiores flutuações foram observadas nos plots Sudeste (SE) e Pivô. As menores médias da LST foram registradas no plot Nordeste (NE), claramente o que se manteve mais preservado, chegando a registrar em quatro datas valores apenas ligeiramente maiores que 20 °C. No plot Pivô, a LST ultrapassou os 40 °C, o que aumenta consideravelmente a  $R_{ol,emi}$  (W/m<sup>2</sup>) e redução no saldo de radiação (W/m<sup>2</sup>). Essas grandes alterações nos valores da LST (°C), observados no plot Pivô e nos outros com grande atividade agrícola, promovem troca intensa de calor com prováveis impactos na temperatura do ar. Nas ocasiões em que os pivôs se encontram com baixa cobertura vegetal, baixa FCV e NDVI, o déficit de pressão do vapor d'água tende a aumentar, com conseqüente aumento na demanda evapotranspirativa local.

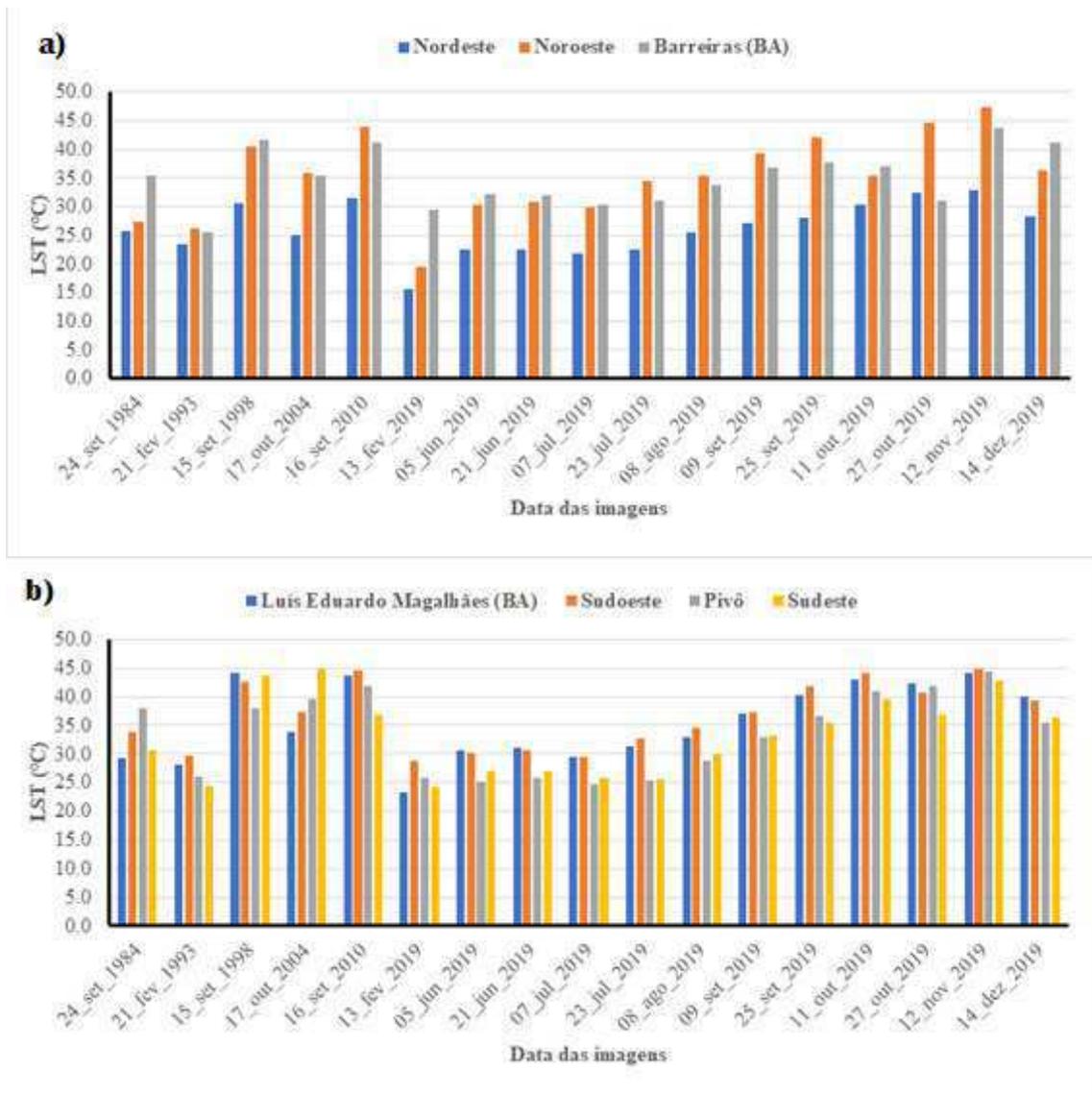
Uma vez mais, se observa que nos gráficos o saldo de radiação apresentou altos valores e grande variabilidade nos plots Pivô e Sudoeste (SO). Já os menores valores do saldo de radiação foram observados em Barreiras (BA) e Luís Eduardo Magalhães (BA). Registre-se que em todas as 17 datas selecionadas, o saldo de radiação se mostrou maior que 500 Wm<sup>-2</sup> no plot Nordeste (NE) e que em cinco datas superou os 700 Wm<sup>-2</sup>, evidenciando a sua condição de área bem preservada. De um modo geral, os valores elevados do saldo de radiação (W/m<sup>2</sup>) resultam da conjunção de valores elevados do NDVI e maior oferta de radiação solar, que refletem o vigor e acentuada presença da vegetação, mas também da sazonalidade, e baixos valores da LST (°C) e do albedo. O oposto, em geral, se verifica nos pixels e plots com baixos valores da FCV e NDVI, que se refletem em LST (°C) e  $R_{ol,emi}$  (W/m<sup>2</sup>) elevados, resultando em baixos valores do saldo de radiação (W/m<sup>2</sup>).



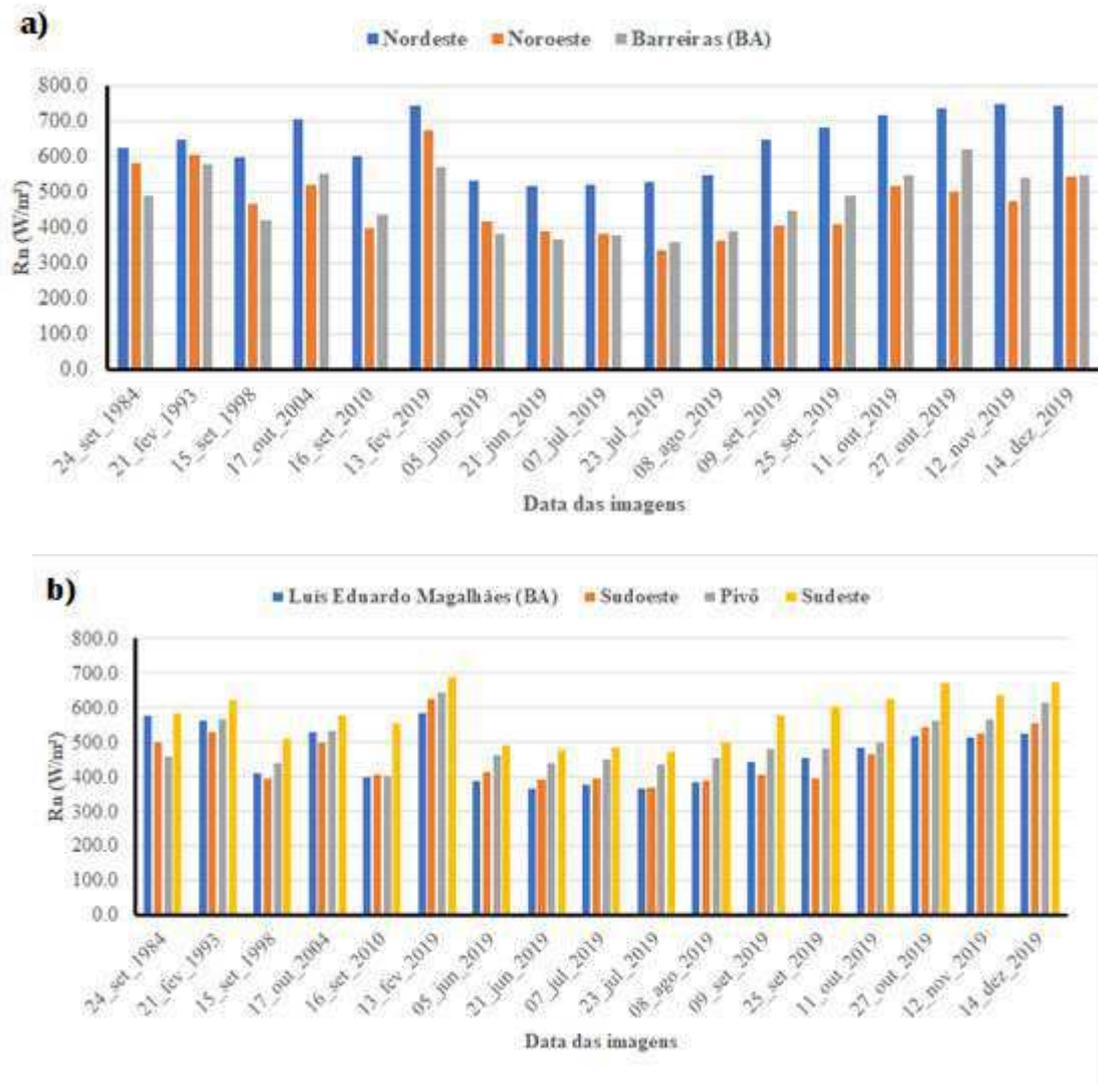
**Figura 5.30** – Evolução da média espacial do albedo de cada um dos sete plots, ao longo do período estudado - 1984 à 2019.



**Figura 5.31** – Evolução da média espacial do NDVI de cada um dos sete plots ao longo do período estudado - 1984 à 2019.



**Figura 5.32** – Evolução da média espacial da temperatura da superfície - LST (°C) de cada um dos sete plots, ao longo do período estudado - 1984 à 2019.



**Figura 5.33** – Evolução do saldo de radiação – R<sub>n</sub> (Wm<sup>-2</sup>) de cada um dos sete plots, ao longo do período estudado - 1984 à 2019.

#### 5.4 – Análise estatística da diferença entre as médias de cada plot

Nesta seção foi empregado um teste estatístico para se avalia a existência, ou não, de diferença significativa entre as médias de um dado plot com os demais, para cada uma das seis variáveis biofísicas envolvidas na pesquisa. Considerando-se as análises anteriores, verificou-se que o plot NE não foi submetido a qualquer mudança no seu uso e ocupação. Nesse sentido, fixou-se o mesmo e se aplicou o teste de diferenças entre médias de modo a possibilitar a comparação entre sua média (de cada variável) e aquelas obtidas nos demais plots. Em seguida, foi escolhida a cidade de Luís Eduardo Magalhães para de empreender a comparação entre a média de suas variáveis com aquelas dos demais plots. Conforme apresentado em Material e Métodos, para se aplicar o **teste de diferenças entre médias** para grandes amostras, se faz necessário usar a média e desvio de cada plot para se obter o

desvio padrão das diferenças, e, em seguida, se determinar a variável do teste, que se assume ter distribuição normal. Adotou-se o nível de significância de 0,01, e considerando-se que os valores de Z podem ser positivos ou negativos, se faz necessário aplicar o teste em ambas as caudas da variável Z. Ao se aplicar o teste a todas as combinações do plot NE com os demais plots, foram reunidos nos Quadros 5.1 a 5.6 os resultados do teste de hipótese. Nos casos em que se constatou haver diferença significativa entre a média do plot de cada variável (albedo, FCV, albedo, Rol,emi, saldo e Tsup) com a média do plot NE (Quadros 5.1 a 5.3) se registrou **sim**. Quando se concluiu não haver diferença significativa se registrou **não**.

Observa-se no Quadro 5.1, relativo aos dados de albedo e FCV, apenas nas datas 15/set/98 e 17/set/04 foi registrado **não** para o albedo com o plot SE. No caso da FCV, foram registrados **sim** em todas as datas e plots, e **não** no plot Pivô nas datas 16/set/10, e de junho a julho de 2019. Os resultados do NDVI estão apresentados no Quadro 5.2, e pode-se observar apenas uma ocorrência de **não** com os plots Noroeste, Sudoeste, e dois com o Pivô, todas em imagens de 2019. Já os dados do teste com o Rol,emi verificou-se haver apenas uma situação em que não havia diferença significativa entre as médias, caso do plot SE. Esses resultados sinalizam haver acentuada diferença entre os valores das variáveis biofísicas estudadas entre os plots que representam área preservada em relação aos outros usos.

No Quadro 5.3 estão representados os resultados da análise entre as médias do saldo de radiação e LST, obtidas no plot NE, com os demais plots. Em todos os casos se concluiu haver diferença significativa entre as médias do saldo de radiação ( $W/m^2$ ) e também da Tsup ( $^{\circ}C$ ), exceto em 21/fev/93, do plot NE com os demais plots.

Nos Quadros 5.4 a 5.6 estão representados os resultados da análise das médias do plot Barreiras, representando área urbana, com aquelas obtidas nos outros plots. Os dados do albedo revelam que houve a ocorrência de dois **não** no plot Noroeste, seis **não** com o plot Luís Eduardo Magalhães (BA), e quatro **não** com o Pivô, revelando a grande variabilidade nos valores dessas variáveis nas áreas irrigadas com culturas de ciclo curto, que predominam na área de estudo. No caso da FCV, os resultados e número de **não** é ainda maior. No plot LEM foram registrados apenas três **sim**, e no plot Noroeste dez **não**. As duas áreas mais preservadas, plots Nordeste e Sudeste, apresentaram em todas as datas de todos os plots **sim**, evidenciando as marcantes diferenças no tipo de uso do solo. Para as variáveis representadas no Quadro 5.5, quais sejam, NDVI e Rol,emi, registrou-se um grande número de **não** com LEM, apenas quatro **sim**. Os resultados com a Rol,emi diferiram consideravelmente do anterior, mas com alguns não com os plots Nordeste (três), LEM (três), Sudoeste (dois) e Pivô (três).

No Quadro 5.6 tem-se os resultados da avaliação estatística da diferença entre as médias do plot Barreiras com os demais, para as variáveis saldo de radiação ( $W/m^2$ ) e LST ( $^{\circ}C$ ). Verifica-se não

haver diferença significativa, ao nível de significância de 0,01, entre as médias do saldo de radiação de Barreiras (BA) com LEM (oito datas), SE (quatro datas), NO e Pivô (ambos com duas datas); já nos plots NE e SE, para todas as 17 datas, o resultado foi *sim*, ou seja, foi rejeitada a hipótese de que não havia diferença entre as médias. Com relação aos resultados da LST (°C), verificou-se situação absolutamente semelhante: *não* no LEM (oito datas), SE (quatro datas), NO e Pivô (ambos com duas datas); o observado com o saldo se reproduziu nos casos dos plots não antropizados NE e SE, ou seja, em todas as datas registrou-se *sim*, ou seja, houve diferença entre os valores das médias de Barreiras (BA) com esses dois plots.

Nordeste	A	l	b	e	d	q	Nordeste	F	C				V
	Noroeste	Barreiras	LEM	Sudoeste	Pivô	Sudeste		Noroeste	Barreiras	LEM	Sudoeste	Pivô	Sudeste
24/set/84	sim	sim	sim	sim	sim	sim	24/set/84	sim	sim	sim	sim	sim	sim
21/fev/93	sim	sim	sim	sim	sim	sim	21/fev/93	sim	sim	sim	sim	sim	sim
15/set/98	sim	sim	sim	sim	sim	sim	15/set/98	sim	sim	sim	sim	sim	sim
17/set/04	sim	sim	sim	sim	sim	sim	17/set/04	sim	sim	sim	sim	sim	sim
16/set/10	sim	sim	sim	sim	sim	sim	16/set/10	sim	sim	sim	sim	sim	não
13/fev/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	13/fev/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
05/jun/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	05/jun/19	sim	sim	sim	sim	sim	não
21/jun/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	21/jun/19	sim	sim	sim	sim	sim	não
07/jul/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	07/jul/19	sim	sim	sim	sim	sim	não
23/jul/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	23/jul/19	sim	sim	sim	sim	sim	não
08/ago/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	08/ago/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
09/set/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	09/set/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
25/set/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	25/set/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
11/out/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	11/out/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
27/out/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	27/out/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
12/nov/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	12/nov/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
14/dez/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	14/dez/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim

**Quadro 5.1** – Resultado do teste de hipótese de Diferença entre Médias ao se comparar o plot Nordeste com os demais para o albedo e FCV.

**Quadro 5.2** – Resultado do teste de hipótese de Diferença entre Médias ao se comparar o plot Nordeste com os demais para o NDVI e Rol,emi.

Nordeste	D						Nordeste	R o l e m i					
	Noroeste	Barreiras	LEM	Sudoeste	Pivô	Sudeste		Noroeste	Barreiras	LEM	Sudoeste	Pivô	Sudeste
24/set/84	sim	sim	sim	sim	sim	sim	24/set/84	sim	sim	sim	sim	sim	sim
21/fev/93	sim	sim	sim	sim	sim	sim	21/fev/93	sim	sim	sim	sim	sim	<b>não</b>
15/set/98	sim	sim	sim	sim	sim	sim	15/set/98	sim	sim	sim	sim	sim	sim
17/set/04	sim	sim	sim	sim	sim	sim	17/set/04	sim	sim	sim	sim	sim	sim
16/set/10	sim	sim	sim	sim	sim	sim	16/set/10	sim	sim	sim	sim	sim	sim
13/fev/19	<b>não</b>	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	13/fev/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
05/jun/19	sim	sim	sim	sim	<b>não</b>	sim	05/jun/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
21/jun/19	sim	sim	sim	sim	<b>não</b>	sim	21/jun/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
07/jul/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	07/jul/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
23/jul/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	23/jul/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
08/ago/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	08/ago/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
09/set/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	09/set/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
25/set/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	25/set/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
11/out/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	11/out/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
27/out/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	27/out/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
12/nov/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	12/nov/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
14/dez/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	14/dez/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim

**Quadro 5.3** – Resultado do teste de hipótese de Diferença entre Médias ao se comparar o plot Nordeste com os demais para o Saldo e Tsup.

Nordeste	Saldo						Nordeste	Tsup					
	Noroeste	Barreiras	LEM	Sudoeste	Pivô	Sudeste		Noroeste	Barreiras	LEM	Sudoeste	Pivô	Sudeste
24/set/84	sim	sim	sim	sim	sim	sim	24/set/84	sim	sim	sim	sim	sim	sim
21/fev/93	sim	sim	sim	sim	sim	sim	21/fev/93	sim	sim	sim	sim	sim	<b>não</b>
15/set/98	sim	sim	sim	sim	sim	sim	15/set/98	sim	sim	sim	sim	sim	sim
17/set/04	sim	sim	sim	sim	sim	sim	17/set/04	sim	sim	sim	sim	sim	sim
16/set/10	sim	sim	sim	sim	sim	sim	16/set/10	sim	sim	sim	sim	sim	sim
13/fev/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	13/fev/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
05/jun/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	05/jun/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
21/jun/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	21/jun/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
07/jul/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	07/jul/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
23/jul/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	23/jul/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
08/ago/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	08/ago/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
09/set/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	09/set/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
25/set/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	25/set/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
11/out/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	11/out/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
27/out/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	27/out/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
12/nov/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	12/nov/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
14/dez/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	14/dez/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim

**Quadro 5.4** – Resultado do teste de hipótese de Diferença entre Médias ao se comparar o plot Nordeste com os demais para o albedo e FCV.

Barreiras	A l b e d o						Barreiras	F C V					
	Nordeste	Noroeste	LEM	Sudoeste	Pivô	Sudeste		Nordeste	Noroeste	LEM	Sudoeste	Pivô	Sudeste
24/set/84	sim	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	24/set/84	sim	sim	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim
21/fev/93	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim	21/fev/93	sim	sim	sim	sim	sim	sim
15/set/98	sim	sim	<b>não</b>	sim	<b>não</b>	sim	15/set/98	sim	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim
17/set/04	sim	sim	sim	sim	<b>não</b>	sim	17/set/04	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	<b>não</b>	<b>não</b>	sim
16/set/10	sim	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	16/set/10	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim
13/fev/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	13/fev/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim
05/jun/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim	05/jun/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim
21/jun/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim	21/jun/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim
07/jul/19	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim	sim	07/jul/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim
23/jul/19	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim	sim	23/jul/19	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim	sim
08/ago/19	sim	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim	08/ago/19	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim	sim
09/set/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	<b>não</b>	sim	09/set/19	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim	sim
25/set/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	25/set/19	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim
11/out/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	11/out/19	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim
27/out/19	sim	sim	sim	sim	<b>não</b>	sim	27/out/19	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim
12/nov/19	sim	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	12/nov/19	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim	sim
14/dez/19	sim	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	14/dez/19	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim	sim

**Quadro 5.5** – Resultado do teste de hipótese de Diferença entre Médias ao se comparar o plot Nordeste com os demais para o NDVI e Rol,emi.

Barreiras	D						Barreiras	R o l e m i					
	Nordeste	Noroeste	LEM	Sudoeste	Pivô	Sudeste		Nordeste	Noroeste	LEM	Sudoeste	Pivô	Sudeste
24/set/84	sim	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	24/set/84	sim	sim	sim	sim	sim	sim
21/fev/93	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim	<b>não</b>	21/fev/93	sim	<b>não</b>	sim	sim	<b>não</b>	sim
15/set/98	sim	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	15/set/98	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim	sim
17/set/04	sim	sim	sim	sim	sim	<b>não</b>	17/set/04	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim	sim
16/set/10	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim	sim	16/set/10	sim	sim	sim	sim	<b>não</b>	sim
13/fev/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim	13/fev/19	sim	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim
05/jun/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim	05/jun/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
21/jun/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim	21/jun/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
07/jul/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim	07/jul/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
23/jul/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim	23/jul/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim
08/ago/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim	08/ago/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
09/set/19	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim	sim	09/set/19	sim	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim
25/set/19	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim	sim	25/set/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
11/out/19	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim	sim	11/out/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
27/out/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim	27/out/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
12/nov/19	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim	sim	12/nov/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	<b>não</b>	sim
14/dez/19	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim	sim	14/dez/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim

**Quadro 5.6** – Resultado do teste de hipótese de Diferença entre Médias ao se comparar o plot Nordeste com os demais para o Saldo e Tsup (°C).

Barreiras	Saldo						Barreiras	Tsup					
	Nordeste	Noroeste	LEM	Sudoeste	Pivô	Sudeste		Nordeste	Noroeste	LEM	Sudoeste	Pivô	Sudeste
24/set/84	sim	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	24/set/84	sim	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim
21/fev/93	sim	sim	sim	sim	sim	sim	21/fev/93	sim	sim	sim	sim	sim	sim
15/set/98	sim	sim	<b>não</b>	sim	<b>não</b>	sim	15/set/98	sim	sim	<b>não</b>	sim	<b>não</b>	sim
17/set/04	sim	sim	sim	sim	sim	sim	17/set/04	sim	sim	sim	sim	sim	sim
16/set/10	sim	sim	sim	sim	sim	sim	16/set/10	sim	sim	sim	sim	sim	sim
13/fev/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim	13/fev/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim
05/jun/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim	05/jun/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim
21/jun/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim	21/jun/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim
07/jul/19	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim	sim	07/jul/19	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim	sim
23/jul/19	sim	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim	23/jul/19	sim	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim
08/ago/19	sim	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim	08/ago/19	sim	sim	<b>não</b>	<b>não</b>	sim	sim
09/set/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim	09/set/19	sim	sim	<b>não</b>	sim	sim	sim
25/set/19	sim	sim	sim	sim	<b>não</b>	sim	25/set/19	sim	sim	sim	sim	<b>não</b>	sim
11/out/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	11/out/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
27/out/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	27/out/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
12/nov/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim	12/nov/19	sim	sim	sim	sim	sim	sim
14/dez/19	sim	<b>não</b>	sim	<b>não</b>	sim	sim	14/dez/19	sim	<b>não</b>	sim	<b>não</b>	sim	sim

## 5.5 – Análise das séries temporais do NDVI

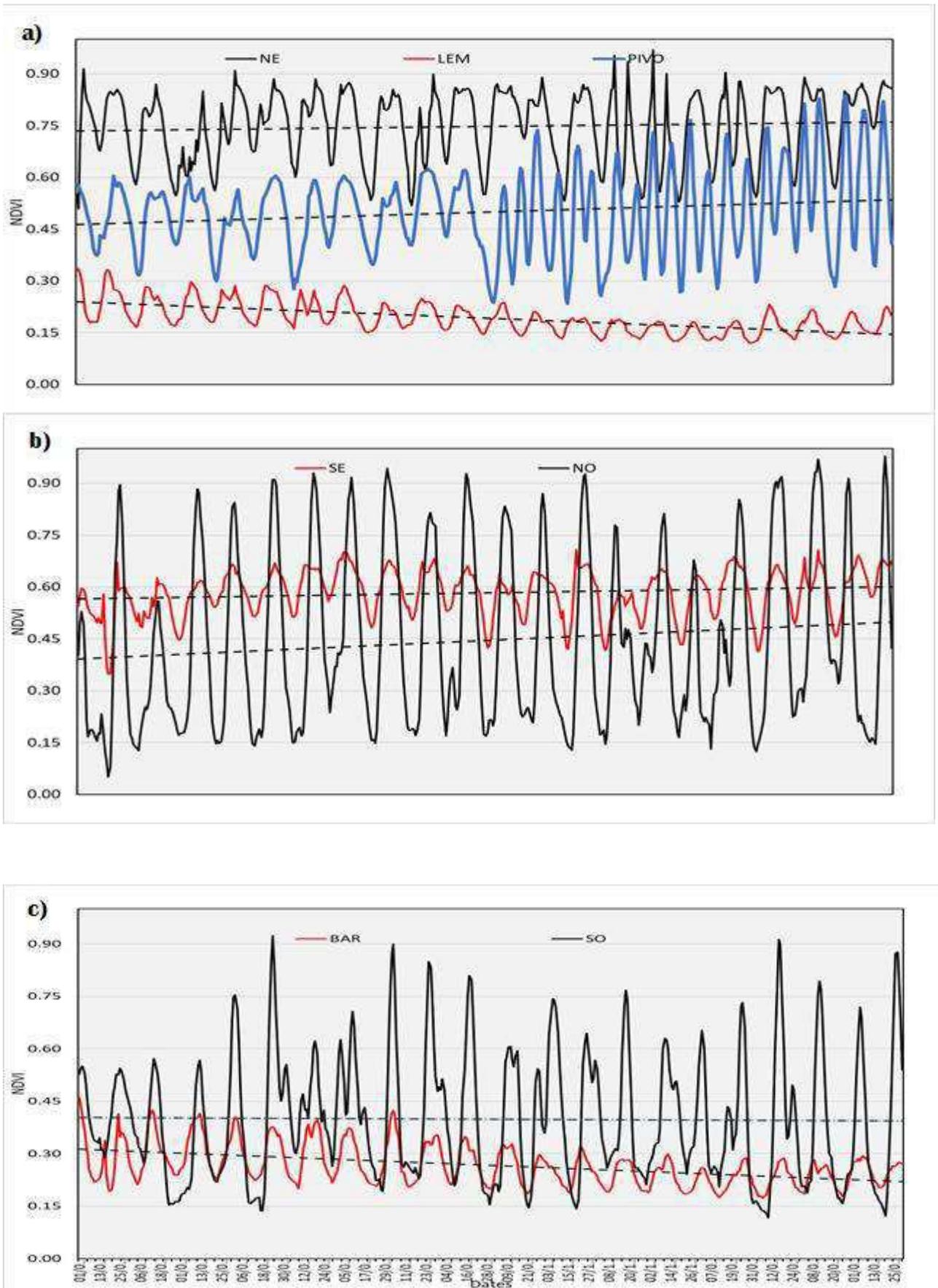
Na Figura 5.34 estão representadas as séries temporais do NDVI gerados com dados do MODIS no SatVeg da Embrapa, para cada um dos sete plots selecionados para a pesquisa. Nos plots não antropizados, sejam Nordeste (NE) e Sudeste (SE), verificou-se claramente a existência de ciclos anuais com valores do NDVI em geral superiores a 0,500, de modo ainda mais nítido no plot Nordeste (NE). Observe-se que o período coberto pelas séries de dados cobre apenas o período 2000 a 2020. Nesse sentido, os dados de LEM revelam que o processo de urbanização já havia se estabelecido em 2000, vez que os valores do NDVI se mostram muito baixos e que a tendência temporal é de redução. A situação de Barreiras (BA) revela que um decréscimo temporal ainda mais intenso, com valores do NDVI consistentemente bem menor que 0,300. Deve-se atentar para o fato de que a resolução desse produto do SatVeg é de 250 m, e foi extraído em ponto escolhido como centro dos plots avaliados anteriormente. A depender da escolha do ponto pode-se obter resultados bastante diferentes.

Nas áreas agrícolas, especialmente nos plots Noroeste (NO) e Pivô se observa que o NDVI apresenta grandes flutuações entre valores próximos de 0,90, valor extremamente elevado, mas que durante um grande número de dias, fica bem abaixo de 0,50, o que provoca grande exposição do solo e eleva consideravelmente a  $T_{sup}$  (°C), com prováveis impactos na temperatura do ar e no déficit de vapor d'água. No plot Sudoeste as flutuações também se dão em torno do valor 0,50, mas com redução nas amplitudes, o que pode ser resultado do tipo de cultura agrícola ali existente. Pode-se notar que os ciclos do NDVI parecem obedecer a um período anual, diferentemente dos observados nos plots Pivô e Noroeste (NO).

Os dados das séries temporais do NDVI revelam, de modo claro, que o tipo de uso influencia sobremaneira a duração dos ciclos e as amplitudes, com prováveis impactos nas diferentes componentes do balanço de radiação, em especial LST (°C) e albedo, e nas temperaturas do ar máxima e mínima diárias, bem como na evapotranspiração potencial, como será avaliado na próxima seção desta pesquisa.

Ao se analisar as flutuações e tendência do NDVI fica nítida a percepção de que nos plots Nordeste (NE) e Sudeste (SE) há grande estabilidade e tendência da linha com coeficiente angular nulo. Já nos plots Pivô, Sudoeste (SO) e Noroeste (NO) a variabilidade temporal é extremamente elevada, mas com tendência de aumento nos valores do NDVI no período de 2000 a 2021. Nas duas áreas urbanas a tendência é de redução nos valores do NDVI, o que seria de algum modo esperado.

Portanto, uma vez mais se identifica uma nítida influência nos valores das variáveis biofísicas estudadas motivada pelas mudanças no uso e ocupação do solo do Cerrado baiano, com possíveis impactos em variáveis meteorológicas.

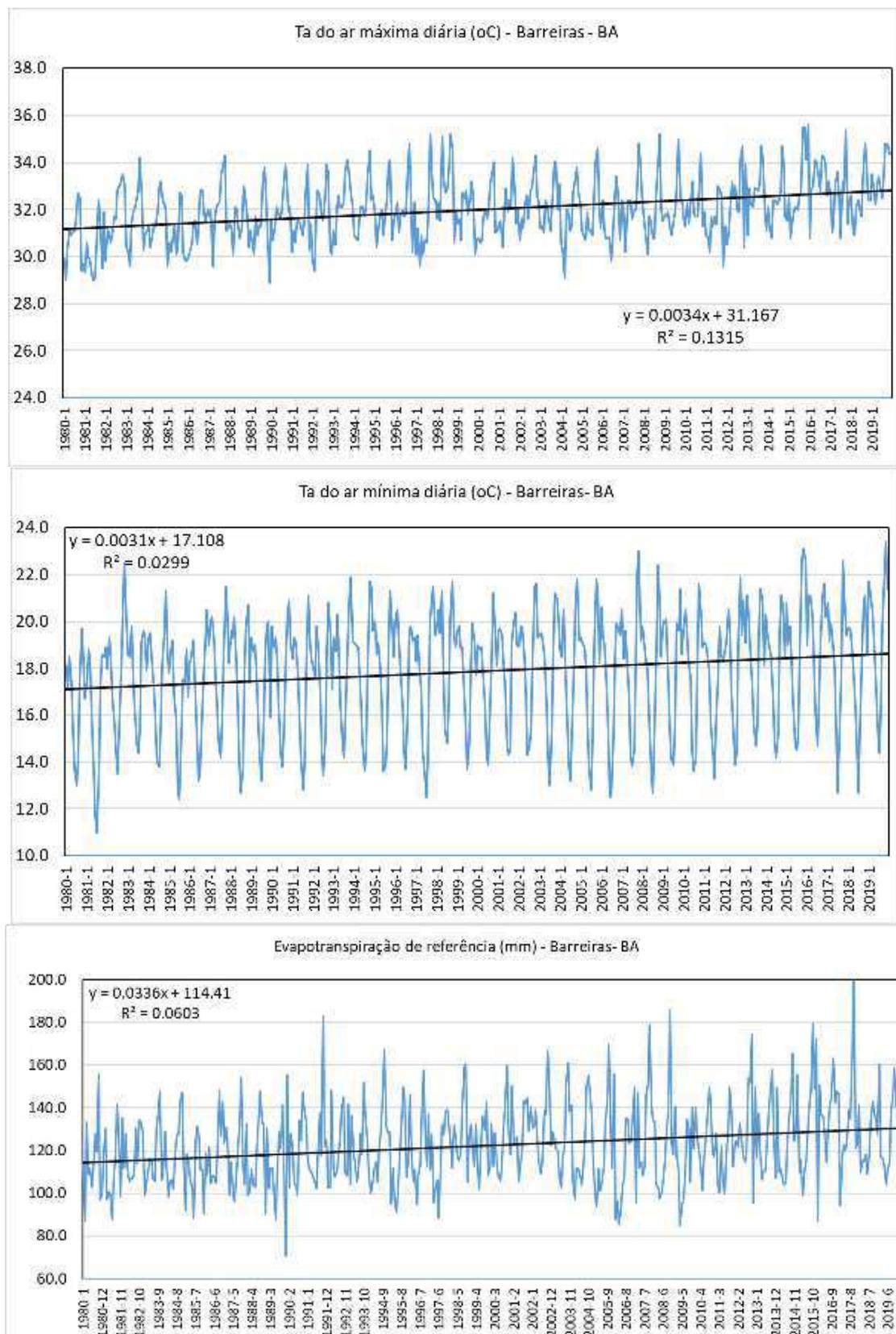


**Figura 5.34** – Série temporal do NDVI de cada plot com a correspondente linha de tendência.

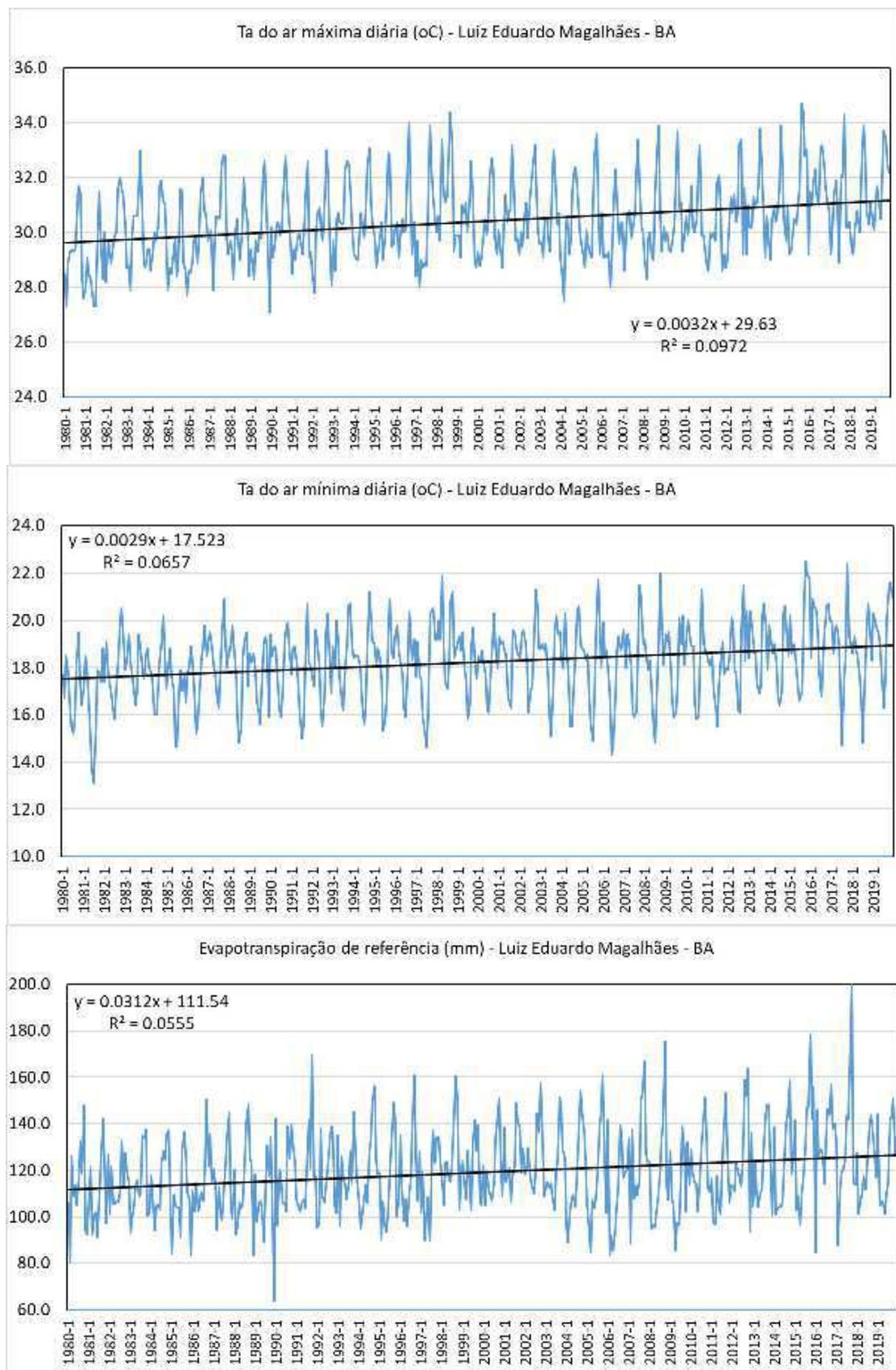
## 5.6 – Evolução das temperaturas máxima e mínima diárias e evapotranspiração de referência

Com vistas a se avaliar o comportamento de algumas variáveis meteorológicas em cada um dos sete plots selecionados foram obtidos dados de temperatura do ar máxima diária –  $T_{a,m\acute{a}x}$  (°C), temperatura do ar mínima diária –  $T_{a,min}$  (°C) e evapotranspiração de referência –  $E_{To}$  (mm) diária média de cada mês no período de 1980 a 2020, totalizando 492 dados por série temporal. Esses dados foram disponibilizados pelo *TerraClimate* através do *Google Earth Engine* e estão representados nas Figura 5.35 a 5.41, correspondendo respectivamente ao centro dos recortes (plots) denominados de Barreiras (BA), Luís Eduardo Magalhães (BA), Noroeste, Nordeste, Sudoeste, Sudeste e Pivô. Em cada figura estão sequencialmente representados os gráficos das séries temporais da  $T_{a,m\acute{a}x}$  (°C),  $T_{a,min}$  (°C) e  $E_{To}$  (mm), nesta ordem, obtidos no período de 1980 a 2019. Em todas as séries e para as três variáveis consideradas, fica evidenciada uma tendência de aumento das mesmas com o passar dos anos, cujas equações de regressão estão inseridas em cada gráfico, com o seu respectivo coeficiente de determinação –  $R^2$ .

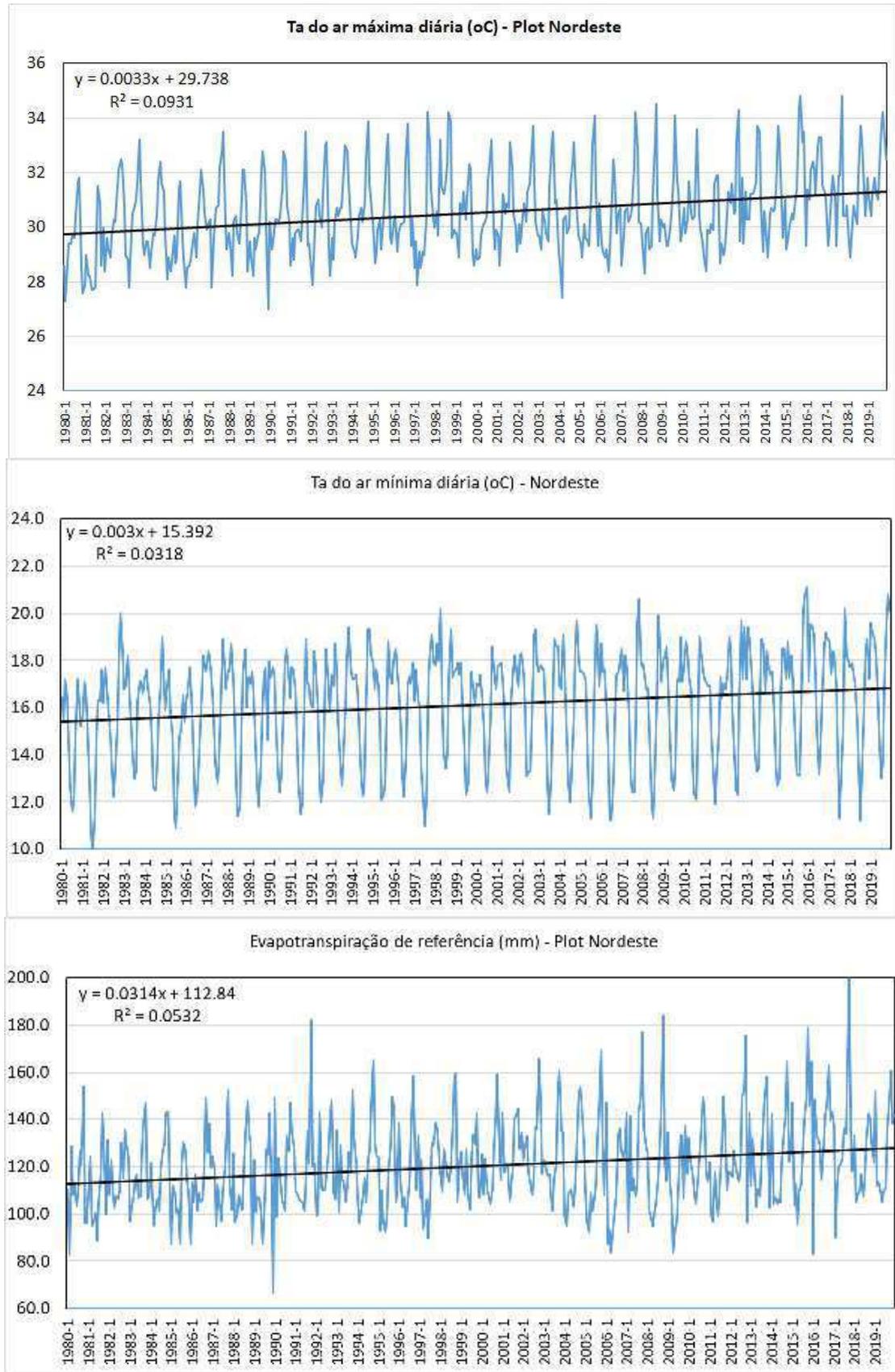
Foi aplicado um teste estatístico para avaliar se o coeficiente de correlação amostral obtido, derivado do coeficiente de determinação inserido em cada gráfico, diferia significativamente de zero. Logo, formulou-se a Hipótese Nula de que o coeficiente populacional era nulo. Nesse caso, foi feito uso do teste t de Student, com nível de significância de 0,01. A estatística do teste, ou seja, o t calculado depende do coeficiente de correlação amostral (ou de Pearson), e do número de graus de liberdade, no caso igual a 120. Nesse caso, o valor do t crítico, para  $\alpha = 0,01$  foi igual a 2,33. Após de calcular o  $t_{cal}$  para todas as 3 x 7 equações obtidas, foi verificado que a Hipótese Nula foi rejeitada para todas as 21 equações obtidas, o que sugere que as alterações observadas nesses últimos 40 anos no Cerrado baiano estão afetando significativamente a temperatura do ar e, por conseguinte, a evapotranspiração de referência. Esses resultados corroboram com a pesquisa de Hofmann et al. (2021), que fizeram uso de três bases de dados independentes e todas indicaram aumento de 2,2 a 4,0 °C na  $T_{a,m\acute{a}x}$  diária e de 2,4 a 2,8 °C na  $T_{a,min}$  diária, na estação seca do Cerrado brasileiro no período de 1961 a 2019. Observaram, ainda, que o aquecimento que tem sido verificado no Cerrado tem aumentado o déficit de pressão do vapor d'água, o que resulta em aumento na  $E_{To}$  (mm), verificado com a presente pesquisa. Deve-se chamar a atenção dos produtores agrícolas e também dos gestores dos recursos hídricos do Cerrado que as mudanças em curso têm aumentado a demanda hídrica das culturas irrigadas ali implantadas, o que pode acirrar a disputa pelo uso da água entre irrigantes, geradores de energia e consumo humano e animal nas próximas décadas.



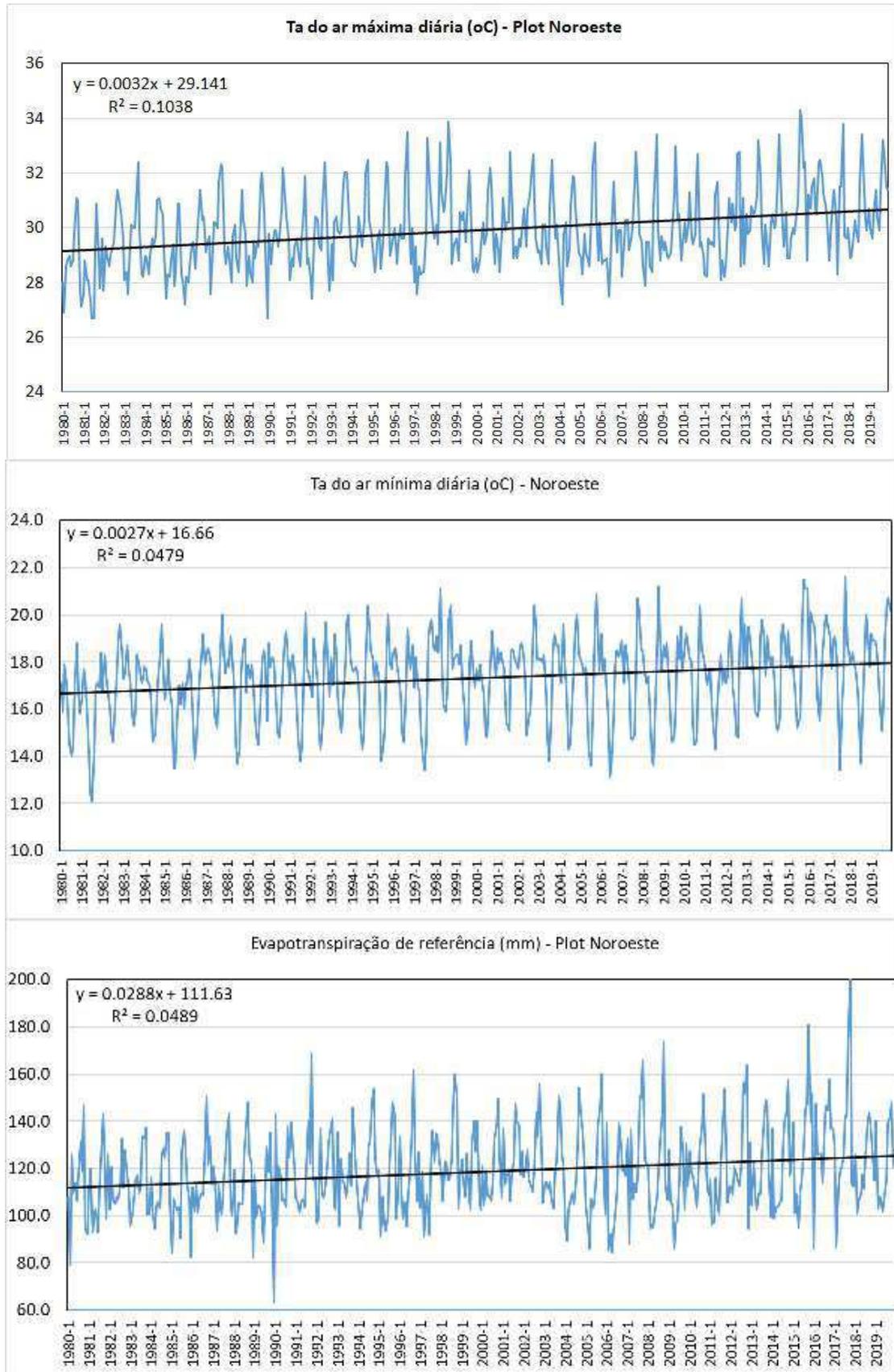
**Figura 5.35** – Evolução da temperatura do ar máxima e mínima diárias (°C) e da evapotranspiração de referência mensal (mm) em **Barreiras (BA)** no período 1980 à 2019.



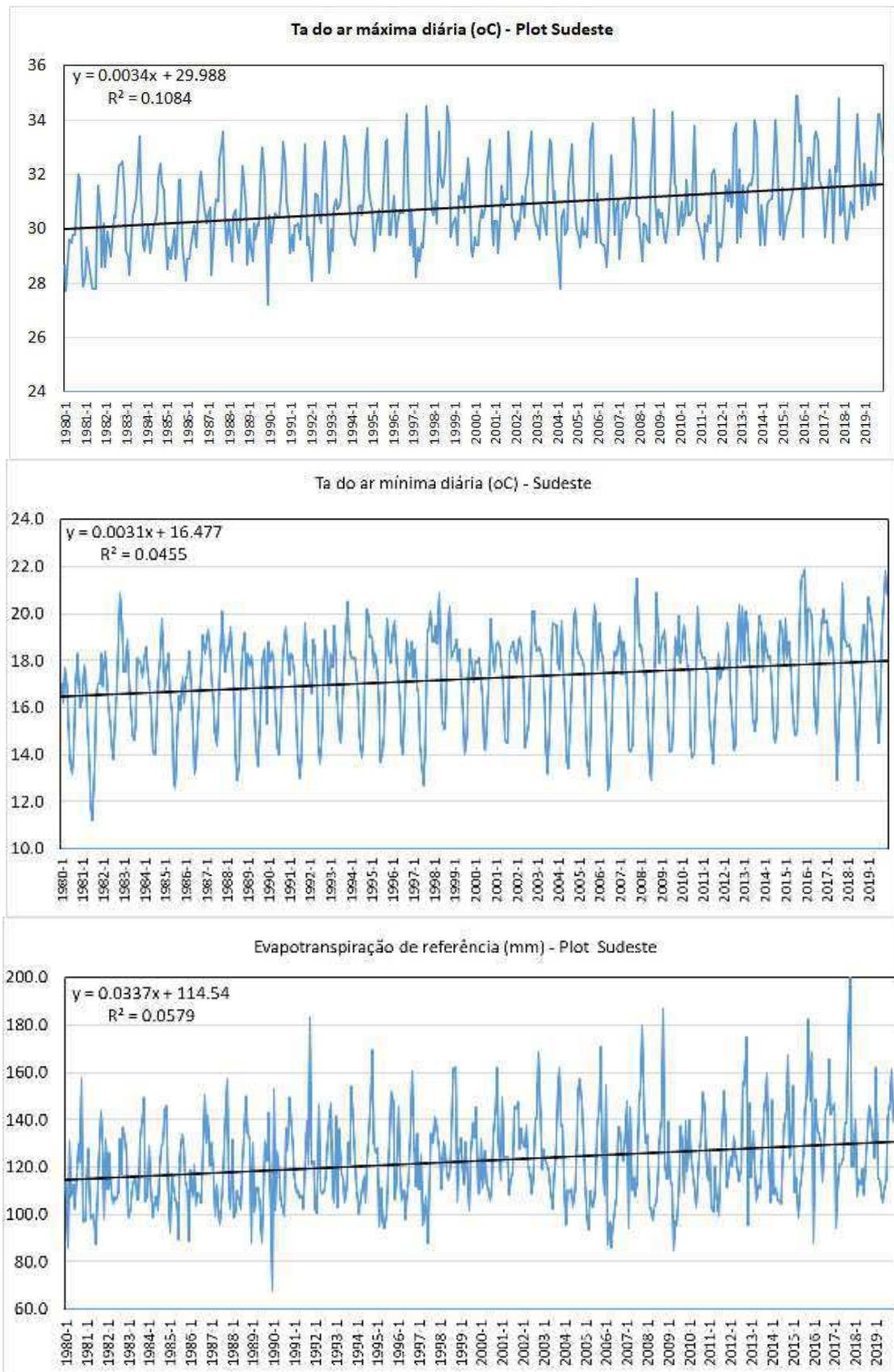
**Figura 5.36** – Evolução da temperatura do ar máxima e mínima diárias (°C) e da evapotranspiração de referência mensal (mm) média mensal em **Luís Eduardo Magalhães (BA)** no período 1980 a 2019.



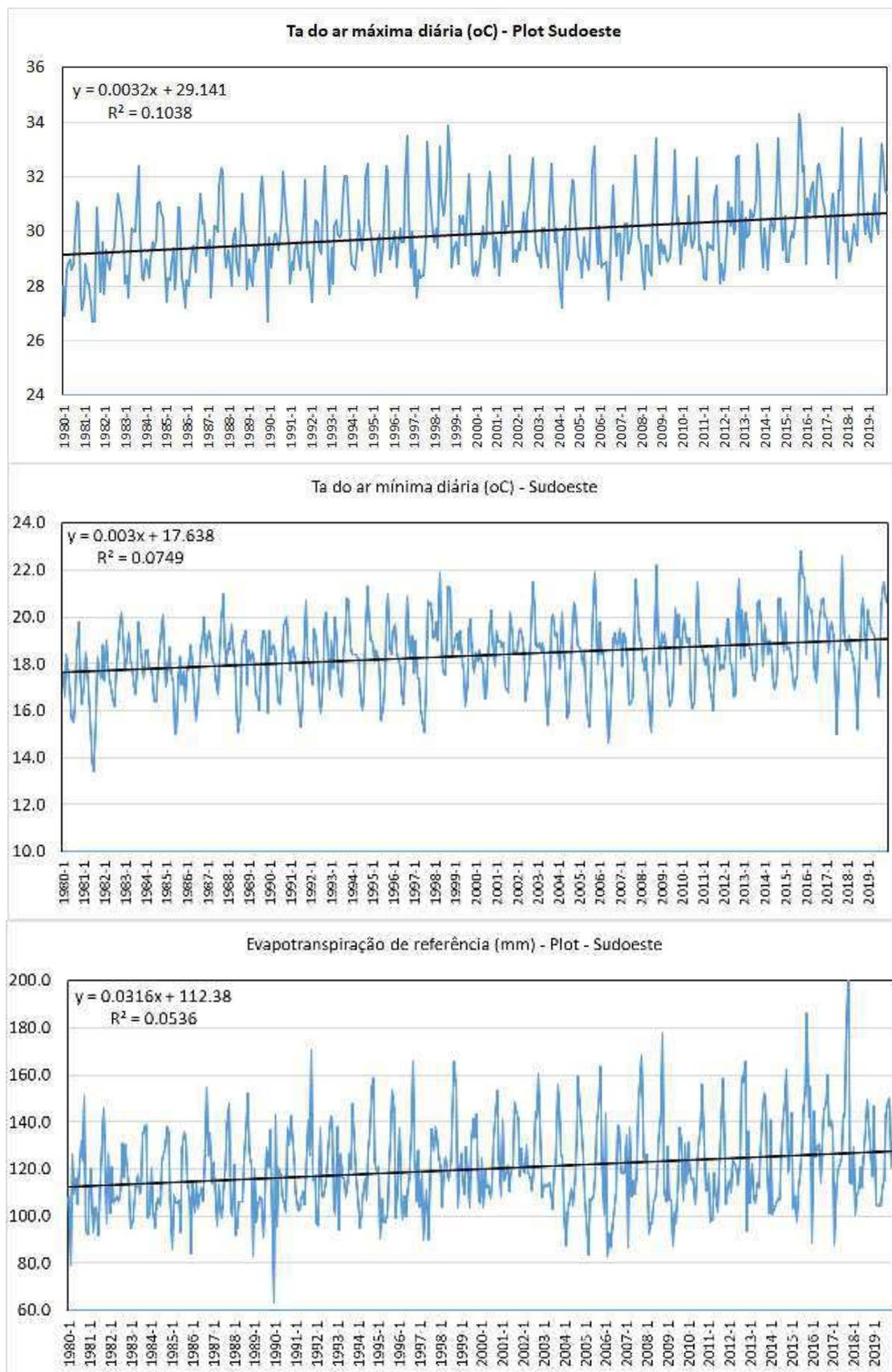
**Figura 5.37** – Evolução da temperatura do ar máxima e mínima diárias (°C) e da evapotranspiração de referência mensal (mm) no plot **Nordeste** no período 1980 a 2019.



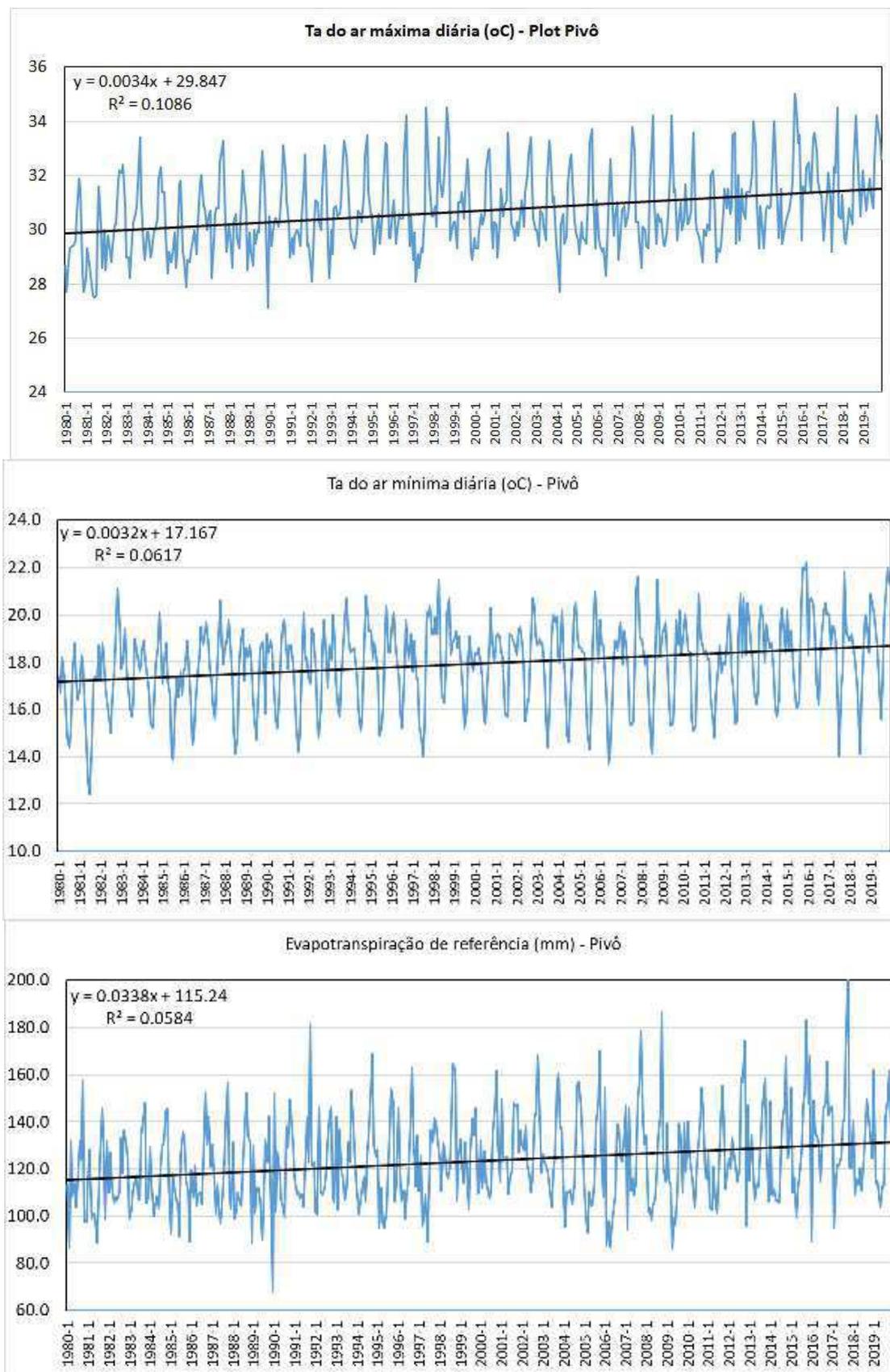
**Figura 5.38** – Evolução da temperatura do ar máxima e mínima diárias (°C) e da evapotranspiração de referência mensal (mm) no plot **Noroeste** no período 1980 a 2019.



**Figura 5.39** – Evolução da temperatura do ar máxima e mínima diárias (°C), e da evapotranspiração de referência mensal (mm) no plot **Sudeste** no período 1980 a 2019.



**Figura 5.40** – Evolução da temperatura do ar máxima e mínima diárias (°C), e da evapotranspiração de referência mensal (mm) no plot **Sudoeste** no período 1980 a 2019.



**Figura 5.41** – Evolução da temperatura do ar máxima e mínima diárias (°C), e da evapotranspiração de referência mensal (mm) no plot **Pivô** no período 1980 a 2019.

## 6 – CONCLUSÕES

De acordo com as imagens usadas na pesquisa fica evidenciada que a área de estudo sofreu grandes modificações no período de 1984 a 2019. Grandes extensões territoriais antes ocupadas por vegetação nativa foram paulatinamente substituídas por áreas agrícolas. Nas duas últimas décadas houve grande avanço de duas culturas em particular: soja e algodoeiro irrigados. Com essas duas culturas são de ciclo relativamente curto, qual seja, de 3 a 4 meses, em algumas propriedades são efetivados ao menos dois ciclos por ano.

Os dados de algumas variáveis integrantes do balanço de radiação com imagens de satélite, quais sejam: albedo –  $\alpha$  (adimensional), temperatura da superfície –  $T_{sup}$  (°C), radiação de onda longa emitida por cada pixel –  $R_{ol,emi}$  (W/m<sup>2</sup>) e saldo de radiação –  $R_n$  (W/m<sup>2</sup>), apresentaram diferenças significativas, e dependem sobremaneira da cobertura vegetal, ou seja, do tipo de uso que estiver sendo feito com o solo no momento da obtenção das imagens.

Nas áreas agrícolas, especialmente naquelas com culturas de ciclo curto, o NDVI e demais componentes do balanço de radiação, apresentaram grande variabilidade entre as imagens de 2019. Essas mudanças estão associadas às alterações no NDVI que estão associadas às mudanças de fase fenológicas das culturas, em especial às de soja e algodão. Por um grande número de dias do ano o solo permanece com grande exposição, resultando no aumento do albedo e da  $T_{sup}$  (°C). Uma grande consequência dessas mudanças no uso e na fenologia das culturas é o aumento na temperatura do ar, retratadas nas temperaturas do ar máxima e mínima diária, e também na evapotranspiração de referência,  $E_{To}$  (mm).

Os testes estatísticos usados revelaram que há diferença significativa entre os plots representadas pelas áreas não antropizadas com as antropizadas e que as tendências de aumento na  $T_{a,máx}$  (°C),  $T_{a,min}$  (°C) e  $E_{To}$  (mm) se mostraram significativas ao se teste o coeficiente de correlação amostral associados aos gráficos dessas variáveis obtidos no período de 1980 a 2020.

A principal conclusão da pesquisa é que as mudanças no uso e ocupação do solo impactam significativamente as variáveis envolvidas no balanço de radiação, em especial na LST (°C), NDVI, albedo e no saldo de radiação (W/m<sup>2</sup>), embora esta última receba grande influência da radiação solar incidente. Pode-se deduzir que essas alterações estão impactando de modo significativo a temperatura do ar e podem resultar em aumento significativo da demanda hídrica dos cultivos irrigados naquela região do estado da Bahia.

## 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R. G., Tasumi, M., Trezza, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133, p.380-394, 2007.
- Bastiaanssen, W. G. M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v.229, p.87–100, 2000.
- Bastiaanssen, W. G. M., Menenti, M., Feddes, R. A., Holtslag, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1: Formulation. **Journal of Hydrology**, v.212–213, p.98–212, 1998.
- Da Silva, B. B., Montenegro, S. M. G. L., da Silva, V. D. P. R., da Rocha, H. R., Galvíncio, J. D., & de Oliveira, L. M. M. Determination of instantaneous and daily net radiation from TM–Landsat 5 data in a subtropical watershed. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v.135, p.42-49, 2015.
- Di Pace, F. T., Silva, B. B. da, Silva, V. P. R., Silva, S. T. A. Mapeamento do saldo de radiação com imagens Landsat 5 e modelo de elevação digital. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.385-392, 2008.
- Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. Marengo, J.A., Torres, R.R. & Alves, L.M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, v.129, p.1189–1200, 2017.
- Duarte, H. F., Dias, N. L., Maggiotto, S. R. Assessing daytime downward longwave radiation estimates for clear and cloudy skies in Southern Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.139, p.171–181, 2006.
- Faria, T. O.; Rodrigues, T. R.; Curado, L. F. A.; Gaio, D. C.; Nogueira, J. S. Surface albedo in different land-use and cover types in Amazon forest region. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.13, n.2, e2120, 2018.
- Fausto, M. A.; Angelini, L. P.; Marques, H. O.; Silva Filho, A.; Machado, N. G.; Biudes, M. S. Impacto da alteração do uso do solo no saldo de radiação no Cerrado do sul de Mato Grosso. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.11, n.2, p.350-361, 2016.

- Ferreira, T. R., Silva, B. B. da, Moura, M. S. B. de, Verhoef, A. Nóbrega, R. L. B. 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, 108052, 2021.
- Franco, R. A. M., Hernandez, F. B. T., Teixeira, A. H. C. Mapeamento da variação espacial e temporal do balanço de radiação e energia em diferentes tipos de uso e ocupação do solo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.68, n.10,p.1975-1992, 2016.
- Garrison, J.D., Adler, G.P. Estimation of precipitable water over the United States for application to the division of solar radiation into its direct and diffuse components. **Solar Energy**, v.44, p.225–241, 1990.
- Gomes, H. F., Silva, B. B. da, Cavalcanti, E. P., Rocha, H. R. Balanço de radiação em diferentes biomas no estado de São Paulo mediante imagens Landsat 5. **Geociências**, v.28, p.153-164, 2009.
- Hastenrath, S., Greischar, L. Further work of Northeast Brazil rainfall anomalies. **Journal of Climate**, v.6, p.743–758, 1993.
- Hastenrath, S., Heller, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, n.103, v.435, p.17-92, 1977.
- Huete, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25, n.3, p.295-309, 1988.
- Liang, S. 2001. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I algorithms. **Remote Sensing of Environment**, v.76, n.2, p.213-238, 2001.
- Marengo, J. A., Alves, L. M., Alvala, R. C., Cunha, A.P., Brito, S., Moraes, O.L. Climatic characteristics of the 2010–2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.1, p.1–13, 2017.
- Marengo, J. A., Torres, R. R. & Alves, L. M. Drought in Northeast Brazil - past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v.129, p.1189–1200, 2017.

- Marengo, J. A.; Cunha, A. P. M. A. ; Nobre, C. A. ; Ribeiro Neto, G. G. ; Magalhaes, A. R. ; Torres, R. R. ; Sampaio, G.; Alexandre, F.; Alves, L. M. ; Cuartas, L. A.; Deusdará, K. R. L.; Alvalá, R. C. S. Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 °C. **Natural Hazards**, v. 102, p. 1-26, 2020.
- Markham, B. L., Barker, J. L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at satellite temperatures. EOSAT Landsat Technical Notes 1:3-8, Earth Observation Satellite Company, Lanham, 1986.
- Markham, C.G. Apparent periodicities in rainfall at Fortaleza, Ceará, Brazil. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 13, p. 176-179, 1974.
- Marques, H. O. Estimativa do saldo de radiação de uma floresta de transição Amazônia-Cerrado por sensoriamento remoto. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal do Mato Grosso, 53 p., 2016.
- Palácios, R. S., Prado, M. J., Biudes, M. S., Carrilho, S. B. P., Tocantins, I.. Determinação do saldo de radiação em plantação de milho com imagens Landsat-5 TM. **Boletim Geográfico de Maringá**, v.33, n.1, p. 41-52, 2015.
- Ruhoff, A. L.; Paz, A. R.; Collischonn, W.; Aragão, L. E. O. C.; Rocha, H. R.; Malhi, Y. S. 2012. A MODIS-Based Energy Balance to Estimate Evapotranspiration for Clear-Sky Days in Brazilian Tropical Savannas. **Remote Sensing**, v.4, n.3, p.703-725, 2012.
- Santos, C. A. C.; Silva, B. B.; Rao, T. V. R.; Satyamurty, P.; Manzi, A. O. Downward longwave radiation estimates for clear-sky conditions over northeast Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.3, p.443-450, 2011.
- Santos, C. A. C.; Wanderley, R. L. N.; Araújo, A. L.; Bezerra, B. G. Obtenção do saldo de radiação em áreas de pastagem e floresta na Amazônia (estação seca) através do sensor MODIS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.3, 420 - 432, 2014.
- Silva, B. B. da, Braga, A. C., Braga, C. C., Oliveira, L. M. M. de, Montenegro, S.M.G.L., Barbosa Junior, B. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: application to the Brazilian semiarid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.1, 3-8, 2016.

- Silva, B. B. da, Lopes, G. M., Azevedo, P. V. Balanço de Radiação em Áreas Irrigadas Utilizando Imagens Landsat 5–TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, p.243-252, 2005.
- Silva, B. B.; Braga, A. C.; Braga, C. C. 2011. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo - PB mediante imagens orbitais. **Revista Caatinga**, v.24, n3,p.145-152, 2011.
- Silva, L. A. & Leite, M. R. Geotecnologias aplicadas à estimativa do comportamento do saldo de radiação em diferentes usos da terra em áreas de cerrado (MG). **Revista Tamoios**, v.13, n.2, p.190-206, 2017.
- Sousa, I. F.; Aguiar Netto, F. A. O.; Silva, B. B. da. Balanço de radiação e energia no Perímetro Irrigado Califórnia (SE) mediante imagens orbitais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v..n.6, p.1165-1172, 2014.
- Tasumi, M., Allen, R. G., Trezza, R. At-Surface Reflectance and Albedo from Satellite for Operational Calculation of Land Surface Energy Balance. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.13, n.2, p.51-63, 2008.
- Von Randow, C.; Manzi, A.O.; Kruijt, B.; Oliveira, P.J.; Zanchi, F.B.; Silva, R.L.; Hodnett, M.G.; Gash, J.H.C.; Elbers, J.A.; Waterloo, M.J.; Cardoso, F.L.; Kabat, P. Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in South West Amazonia. **Theoretical and Applied Climatology**, v.78, n.1-3, p.5-26, 2004.