



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM MEIO AMBIENTE E
DESENVOLVIMENTO REGIONAL**

ROSANA AMARAL CARRASCO

**RELAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL ENTRE O USO E A COBERTURA DA TERRA E
A TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE**

Presidente Prudente - SP

2019

ROSANA AMARAL CARRASCO

**RELAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL ENTRE O USO E A COBERTURA DA TERRA E
A TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE**

Dissertação de Mestrado apresentada à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional (MMADRE). Área de Concentração: Ciências Ambientais. Linha II: Planejamento ambiental e Desenvolvimento Regional.

Orientadora: Prof^a Dr^a. Ana Paula Marques Ramos

Co-orientador: Prof. Dr. Paulo Antônio Silva

Colaboradora: Prof.^a Dr.^a Rejane Ennes Cicerelli (UNB – Brasília)

Presidente Prudente - SP

2019

526.982
C313

Carrasco, Rosana Amaral.

Relação espaço-temporal entre o uso e a cobertura da terra e a temperatura de superfície / Rosana Amaral Carrasco. – Presidente Prudente, 2019.

39f.: il.

Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) - Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Presidente Prudente, SP, 2019.

Bibliografia.

Orientador: Profª Drª. Ana Paula Marques Ramos.

1. Análise multitemporal. 2. Sensoriamento remoto. 3. Processamento digital de imagens. 4. Produção cartográfica. I. Ramos, Ana Paula Marques. II. Título

ROSANA AMARAL CARRASCO

**RELAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL ENTRE O USO E A COBERTURA DA TERRA E
A TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE**

Dissertação de Mestrado apresentada à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional (MMADRE). Área de Concentração: Ciências Ambientais. Linha II: Planejamento ambiental e Desenvolvimento Regional.

Presidente Prudente, 01 de março de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Ana Paula Marques Ramos
Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE
Presidente Prudente - SP

Prof. Dr. José Marcato Junior
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - UFMS
Campo Grande - MS

Prof.^a Dr.^a Leticia Sabo Boschi
Universidade Estadual Paulista - UNESP
Rosana - SP

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, meu guia, que sempre me deu forças e nunca me deixou desanimar.

À minha amada família, minha base, pelo apoio e orações.

Ao meu amado esposo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que, com todo amor por mim, sempre esteve comigo me abençoando durante esta longa caminhada.

Em especial, agradeço a professora Dr^a. Ana Paula Marques Ramos, por acreditar que eu era capaz. Só tenho a agradecer de coração pelos seus ensinamentos, orientações, palavras de incentivo, paciência e dedicação. Tenho muito orgulho em dizer que um dia fui sua orientada. Um exemplo como pessoa e pesquisadora. Tem toda a minha admiração!

Ao colaborador e amigo Lucas Prado Osco, pelos ensinamentos, orientações, incentivo e contribuições com o trabalho.

À Professora colaboradora Dra. Rejane Ennes Cicerelli e ao Professor co-orientador Dr. Paulo Antônio Silva muito obrigada pelos ensinamentos, parceria, orientações e contribuições.

À banca, professora Dr^a. Letícia Sabo Boschi e ao professor Dr. José Marcato Junior, agradeço pelas contribuições que aprimoraram e enriqueceram este trabalho.

Aos prezados professores do MMADRE, pelos ensinamentos e embasamento teóricos e práticos.

Aos queridos amigos do NEAGEO, em especial à Mayara, Antônio, Felipe, Larissa, Renata e todos do grupo Pesquisa Geotecnologias, que sempre estiveram presentes compartilhando e colaborando com o andamento do trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo concedida, por viabilizar a oportunidade de realizar este sonho.

Por fim, a todos que acompanharam meu percurso colaborando de alguma forma ao longo dos últimos anos eu deixo uma palavra sincera de gratidão.

LISTA DE SIGLAS

ANOVA	- Análise de Variância
CAPES	- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
ESPA	- <i>Center Science Processing Architecture</i>
LST	- <i>Land Surface Temperature</i>
MMADRE	- Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional
NDVI	- <i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
OLI	- <i>Operational Land Imager</i>
PROINTER	- Programa de Pesquisa Interdisciplinar
QGIS	- <i>Quantum Geographical Information System</i>
TM	- <i>Thematic Mapper</i>
TIRS	- <i>Thermal Infrared Sensor</i>
USGS	- <i>United States Geological Survey</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização da região da área de estudo.....	14
Figura 2 -	Temperatura atmosférica e precipitação em julho para a área em estudo.....	14
Figura 3 -	Fluxograma das etapas de cada fase de análise do estudo.....	15
Figura 4 -	Espacialização dos pontos de validação e das amostras de treinamento.....	18
Figura 5 -	Uso e cobertura da terra para os anos de 1987, 2000 e 2017 para área de estudo.....	25
Figura 6 -	Temperatura de superfície para os anos de 1987, 2000 e 2017 na área de estudo.....	28
Figura 7 -	Relação da LST entre os períodos de análise (1987-2000 e 2000-2017).....	30
Figura 8 -	Perfis topográfico e de temperatura de superfície para a área em estudo no mês de julho de 1987, 2000 e 2017.....	31
Figura 9 -	Temperatura de superfície para os tipos de uso e cobertura da terra entre os anos 1987 e 2017 na área em estudo.....	33
Figura 10 -	Proporção de área de estudo para cada das faixas de temperatura de superfície terrestre, em °C, para os anos de 1987, 2000 e 2017.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz de confusão e erros de omissão e inclusão da classificação para os anos de 1987, 2000 e 2017.....	23
Tabela 2 - Uso e cobertura da terra em 1987, 2000 e 2017 na área em estudo.....	24
Tabela 3 - Matriz de mudança das classes de uso e cobertura da terra entre 1987 e 2000, e entre 2000 e 2017, e as taxas de transformações associadas.....	26
Tabela 4 - Temperatura de superfície e temperatura atmosférica em julho de 1987, 2000 e 2017 na área em estudo.....	29
Tabela 5 - Média da temperatura de superfície (em °C) para as classes de uso e cobertura da terra em julho de 1987, 2000 e 2017.....	32

SUMÁRIO

1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	09
2	MANUSCRITO.....	10
2.1	Introdução.....	11
2.2	Área de estudo.....	13
2.3	Materiais e Métodos.....	15
2.3.1	Dados utilizados.....	15
2.3.2	Classificação do Uso e Cobertura da Terra e avaliação da acurácia.....	16
2.3.3	Extração da Temperatura de Superfície.....	18
2.3.4	Análises estatísticas.....	22
2.4	Resultados e Discussão.....	22
2.4.1	Avaliação da Mudança de Uso e Cobertura da Terra de 1987 a 2017.....	22
2.4.2	Avaliação da Mudança na Temperatura de Superfície de 1987 a 2017.....	27
2.4.3	Associação entre a temperatura de superfície e o uso e cobertura da terra em 1987, 2000 e 2017.....	32
2.5	Conclusão.....	34
	Referências.....	35
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este trabalho é desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional (MMADRE), Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), sob fomento da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). Esse programa integra especialistas de diferentes áreas do conhecimento científico, sendo a região do Pontal do Paranapanema (SP) o objeto de estudo. Essa integração ocorre a partir de uma abordagem multidisciplinar envolvendo questões ambientais e de desenvolvimento regional.

O trabalho apresentado encontra-se inserido no Programa de Pesquisa Interdisciplinar (PROINTER). O PROINTER teve início em meados do ano de 2014, a partir de discussões entre os docentes do programa e convidados de outras instituições de ensino superior. Esse programa reúne, portanto, reflexões sobre a sustentabilidade e o desenvolvimento econômico da região do Pontal do Paranapanema – SP. E isso tem permitido promover “novas leituras” na região, à medida em que se acrescentam diagnósticos sobre essa área geográfica.

A temática da abordagem definida para o Pontal do Paranapanema foi por meio de uma conjugação de fatores e da vontade de pesquisadores em prosseguir com uma investigação, de modo interdisciplinar, na área. Um dos problemas está na ausência de dados que demonstrem a dinâmica de mudança da superfície da região ao decorrer do tempo e sua relação com a temperatura de superfície. Desse modo surge nossa proposta, intitulada “Relação Espaço-Temporal entre o Uso e a Cobertura da Terra e a Temperatura de Superfície”.

2 MANUSCRITO

RESUMO

Relação espaço-temporal entre o uso e a cobertura da terra e a temperatura de superfície

A temperatura de superfície da terra (*Land Surface Temperature* - LST) é um dos principais parâmetros físicos utilizados para avaliar os impactos das mudanças de uso e cobertura. Essas mudanças podem variar ao decorrer do tempo e permitem um diagnóstico sobre os impactos antrópicos responsáveis por modificar a paisagem natural. Esse trabalho tem por objetivo avaliar se as classes de uso e cobertura da terra afetam a variação da LST ao decorrer dos últimos 30 anos na região a oeste do estado de São Paulo, Brasil. Essa região é composta por 32 municípios e marcada pelo intenso cultivo agrícola. Avaliamos três datas no inverno (mês de julho), utilizando imagens dos satélites Landsat 5, sensor TM (*Thematic Mapper*) para os anos de 1987 e 2000, e Landsat 8, sensores OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) para o ano de 2017. A classificação por Máxima Verossimilhança foi aplicada nas bandas do sensor TM (5, 4, 3) e do sensor OLI (6, 5, 4) para a produção do mapa de uso e cobertura da terra dos diferentes anos de análise. Extraímos a LST das imagens Landsat usando a banda termal 6, para os anos 1987 e 2000 do sensor TM, e a banda 10, para o ano 2017 do sensor TIRS. Verificamos a variação da LST para cada classe de uso e cobertura (vegetação arbórea, cultura, corpo d'água, pastagem e solo exposto) a um nível de significância de 5%. As áreas de pastagem e solo exposto apresentaram LST mais elevadas ao longo do período de 30 anos (1987 até 2017), enquanto as áreas de corpo d'água e vegetação arbórea contribuíram para a atenuação da LST nesse mesmo período. Constatamos um aumento médio de 5°C da LST para a área em estudo ao decorrer dos últimos 30 anos. Concluimos que o tipo de uso e cobertura implica em uma variação da LST.

Palavras-chave: Análise multitemporal. Sensoriamento Remoto. Processamento digital de imagens. Produção cartográfica.

ABSTRACT

Spatial-temporal relationship between land use cover and surface temperature

Land Surface Temperature (LST) is one of the main physical parameters used to assess the impacts of changes in Land Use and Land Cover (LULC). These changes may vary over time and allow a diagnosis of the anthropic impacts responsible for modifying the natural landscape. This study aims to evaluate if types of LULC affect the LST variation over the last 30 years in a region on the west of São Paulo state, Brazil. This region is composed of 32 municipalities and marked by intense agricultural cultivation. We evaluated three dates during the winter station (July), using images from the Landsat 5, TM (*Thematic Mapper*) sensor, for the years 1987 and 2000, and Landsat 8, OLI (*Operational Land Imager*) and TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) sensors for the 2017 year. Maximum Likelihood classification was applied to data from TM sensor bands (5, 4, 3) and OLI sensor bands (6, 5, 4) to make LULC maps for each dates of analysis. We extracted the LST from the Landsat thermal images using the band 6 for the years 1987 and 2000 of the TM sensor and the band 10 for the 2017 year of the TIRS sensor. We verified that the LST variation for each class of LULC (vegetation area, crop fields, water body, pasture and bare soil) at a significance level of 5%. The pasture and bare soil class had a higher LST over the 30-year period (1987 to 2017) analysis, while the water bodies and the vegetation areas contributed to the reduction of the LST in the same period. We found an average increase of 5 Celsius degree of LST for the studied area during the last 30 years. We conclude that the type of LULC implies a variation of LST.

Keywords: Multitemporal analysis. Remote Sensing. Digital image processing. Cartographic production.

2.1 Introdução

Estudos envolvendo a análise e as implicações das mudanças de uso e cobertura da terra nos processos naturais aumentaram nos últimos anos. Esses estudos visam, dentre outros, auxiliar em atividades de planejamento urbano, análise das mudanças climáticas e no monitoramento ambiental (FATHIZAD *et al.*, 2017).

As análises de caracterização das mudanças de uso e cobertura da terra são realizadas com base na aplicação de técnicas de processamento digital de imagens em dados de Sensoriamento Remoto. A classificação de imagens multiespectrais é uma técnica que possibilita mapear o uso e a cobertura da terra, a partir do princípio de agrupamento de pixels em classes de acordo com as suas características espectrais (RICHARDS; JIA, 2006). Além dessa, outra importante técnica de processamento digital de imagens é a recuperação de dados de Temperatura de Superfície terrestre (*Land Surface Temperature – LST*) a partir de imagens termais registradas por sensores remotos (JENSEN, 2009).

A LST é fonte de informação para se estudar as propriedades físicas da terra e suas condições climáticas, bem como a investigação de como as ações antrópicas afetam o meio ambiente (FATHIZAD *et al.*, 2017). Mudanças de temperatura de superfície modificam os processos de balanço de energia e água (OKE, 1987) e desempenham papel vital nos processos ambientais (WENG *et al.*, 2004). Essas constatações são importantes para apoiar o desenvolvimento de atividades de planejamento ambiental e de avaliação de impacto ambiental.

Trabalhos recentes, ainda, discutem as implicações que a mudança de uso e cobertura da terra resulta na LST. Na cidade metropolitana de Lagos, na Nigéria, Babalola e Akinsanola (2016) analisaram a dinâmica de uso e cobertura da terra e sua influência na LST, ao longo de 29 anos, usando dados de imagens Landsat 5, 7 e 8. Tais autores constataram que a cobertura vegetal diminuiu rapidamente no período analisado e que essas mudanças provocaram variações no microclima da região contribuindo para a intensificação de ilhas de calor. Além disso, Babalola e Akinsanola (2016) apontaram que as áreas urbanas e de solo exposto correlacionaram-se positivamente com as altas temperaturas da superfície, enquanto áreas de corpo d'água e com vegetação correlacionaram-se negativamente.

Também Wang *et al.* (2016) utilizaram de imagens Landsat 5 e 7 para investigar a correlação entre a expansão urbana e a mudança de LST na capital Nanjing, na China, ao longo de 24 anos. Os resultados revelaram que essa cidade expandiu-se rapidamente durante o período de estudo, havendo predominantemente a substituição de áreas de solo exposto ou de vegetação por áreas impermeáveis. Assim, Wang *et al.* (2016) concluíram que o aumento da LST esteve associado com a mudança de uso e cobertura da terra, tendo a urbanização como um fator de provável consequência negativa para a biodiversidade e mudança climática local.

Estoque, Murayama e Myint (2016) utilizaram imagens Landsat 8, em 2014, estação de seca, para examinar a relação entre a temperatura de superfície e o padrão espacial da superfície impermeável e de espaços verdes nas áreas metropolitanas de Bangkok (Tailândia), Jacarta (Indonésia) e Manila (Filipinas), sudeste da Ásia. Verificaram uma forte correlação entre a LST média e a densidade da superfície impermeável (positiva) e do espaço verde (negativa) das três cidades. Esses autores apontam que, em média, a LST da superfície impermeável é 3°C superior em relação ao do espaço verde, destacando o importante papel dos espaços verdes na mitigação dos efeitos de ilhas de calor.

Pal e Zial (2017) também verificaram o impacto do uso e cobertura da terra na LST, caracterizando ilhas de calor, em um município ao norte da Índia, ao longo de 23 anos, usando imagens Landsat 5 e 8. Os resultados mostraram que a LST varia durante os períodos de inverno e verão, e que diferenças de LST existem em distintos tipos de uso e cobertura.

Outro trabalho nessa temática é o de Fathizad *et al.* (2017). Esses autores investigaram as variações espaço-temporais da LST com base na mudança de uso da terra ao longo de 20 anos em dois vilarejos do Iran, usando imagens Landsat 5 e 7. Os resultados revelaram um aumento na LST em áreas onde ocorreu degradação no uso da terra e cobertura da terra, esta elevação se comportou com uma tendência crescente ao longo dos anos de 1990, 2000 e 2010.

Wang *et al.* (2018) utilizaram imagens Landsat 5, 7 e 8 para caracterizar os padrões de uso e cobertura da terra e da LST, ao longo de 28 anos, na Grande Yangon, a maior aglomeração urbana em Mianmar, sul da Ásia. A análise mostrou uma expansão urbana irradiando do centro da cidade e ao longo de rios proeminentes, com grandes aumentos de áreas edificadas e de pastagens. Ademais, foi observado que terras agrícolas eram mais quentes quando se comparado ao

centro da cidade durante o dia nas estações quentes, enquanto nas estações frias, o núcleo da cidade era mais quente do que o ambiente rural durante o dia e a noite. Esses autores encontraram uma correlação mais forte entre a área construída e LST durante a noite, indicando um aumento do efeito de ilha de calor em áreas urbanas.

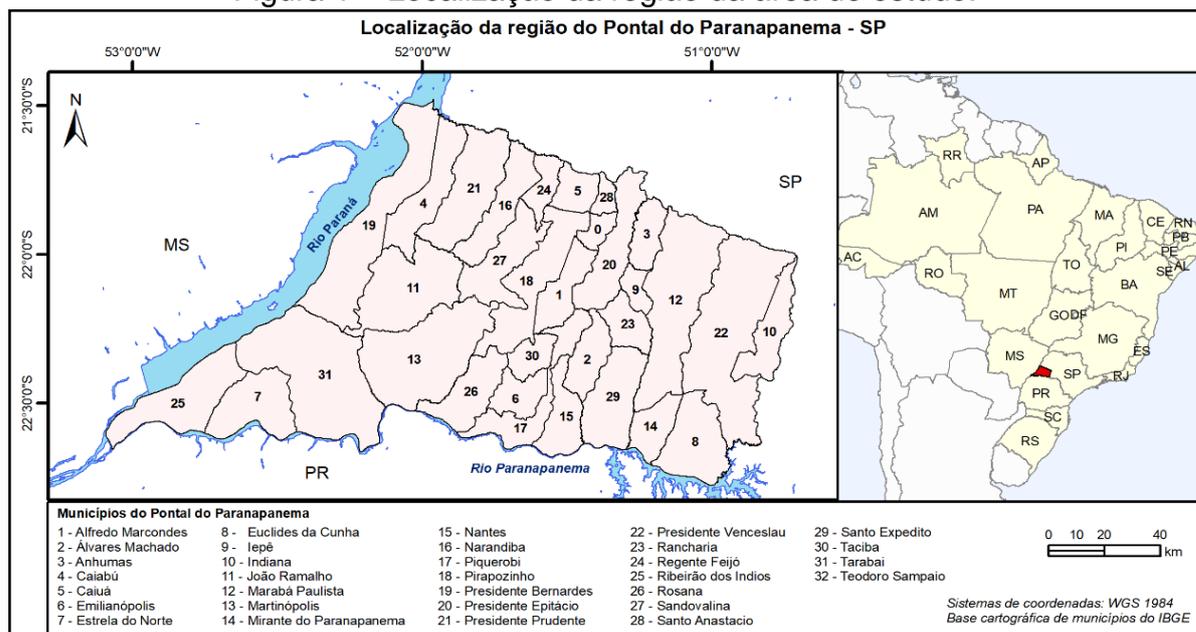
No Brasil, Bezerra, Moraes e Soares (2018) verificaram a associação da LST com índice de vegetação, através de dados de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) no município de Belém, ao longo de 10 anos, utilizando imagens Landsat 5 e 8. Constataram que em locais com menores valores de índice de vegetação, as LST foram mais elevadas, variando de 30°C a 35°C, com presença de ilhas de calor, afetando o conforto térmico da população, e em zonas mais vegetadas, a LST se mostrou mais amena, variando de 23°C a 26°C.

Embora exista uma variedade de estudos que explorem a correlação entre as alterações no uso e cobertura da terra e a LST, esse tipo de investigação é inexistente na região ao extremo oeste do estado de São Paulo, Brasil (Pontal do Paranapanema); local no estado onde se encontram os últimos remanescentes do bioma Mata Atlântica. Esse tipo de informação é fundamental para auxiliar no monitoramento dos recursos naturais da região, pois otimiza as atividades de diagnóstico ambiental, como: quantificação de áreas a serem recuperadas e; formação de ilhas de calor. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo avaliar se o uso e a cobertura da terra afetou a LST nos últimos 30 anos na região do Pontal do Paranapanema, Brasil.

2.2 Área de Estudo

A região do Pontal do Paranapanema está localizada a oeste do estado de São Paulo e possui cerca de 18.845 km² (Figura 1). A população dessa área é estimada em 583.703 habitantes, dos quais aproximadamente 90% residem em áreas urbanas, distribuídas em 32 municípios (IBGE, 2010). O Pontal possui um intenso histórico de ocupação territorial, sem a devida preocupação com os impactos ambientais (ITESP, 2013). A cobertura vegetal da região é composta de matas com fisionomias de Floresta Estacional Semidecidual do bioma Mata Atlântica, de vegetação típica do Cerrado, e de zonas de transição entre ambos os biomas (IBGE, 2012).

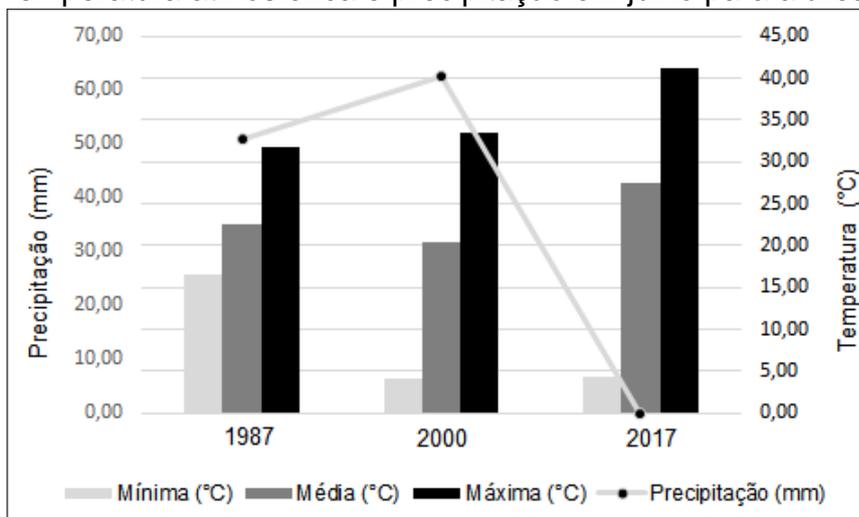
Figura 1 – Localização da região da área de estudo.



Fonte: Autora (2019).

Para atingirmos ao objetivo proposto, trabalhamos com três datas nos últimos 30 anos, considerando o mês de julho, que corresponde à estação de inverno na região estudada, devido menor probabilidade de nuvens. As datas correspondem aos anos de 1987, 2000 e 2017. De acordo com dados fornecidos pela Estação meteorológica da Faculdade de Ciências e Tecnologia do município de Presidente Prudente - SP (Figura 2), a temperatura atmosférica média em julho dos três anos de análises equivaleu a: 22,2 °C (1987); 17,7 °C (2000) e; 20,0 °C (2017). A precipitação, de acordo com um resumo mensal durante o mês de julho, atingiu 51 mm (1987), 62 mm (2000) e 0 mm (2017).

Figura 2 – Temperatura atmosférica e precipitação em julho para a área em estudo.

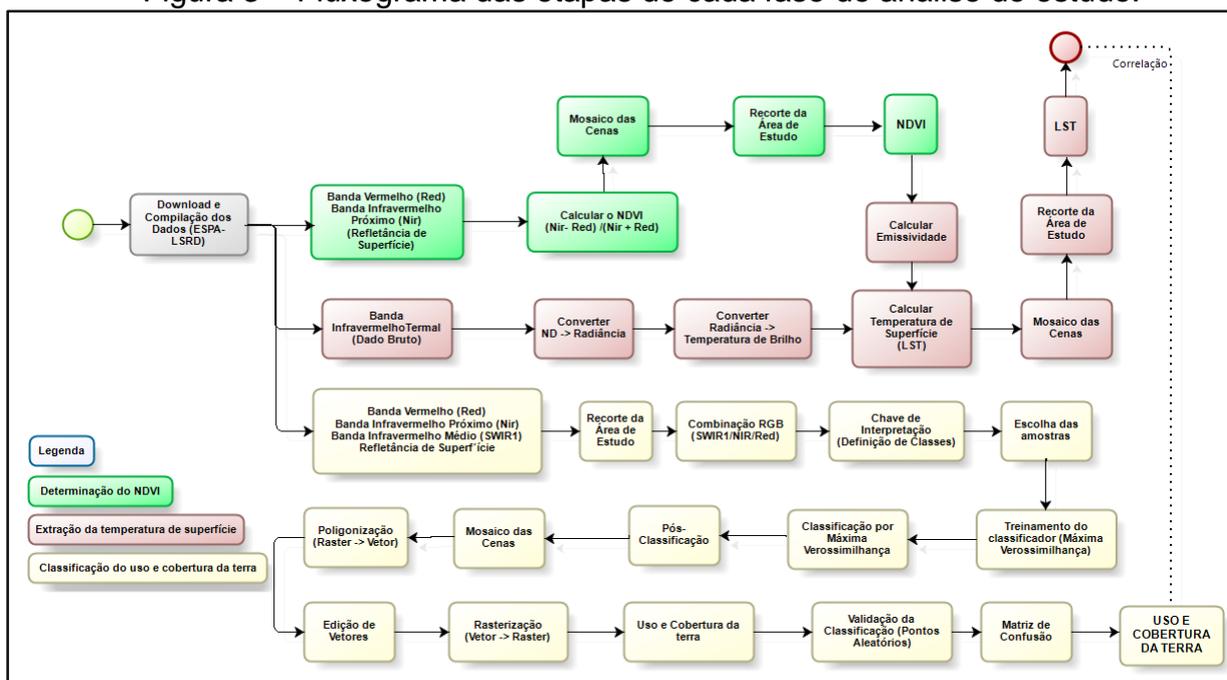


Fonte: Autora (2019).

2.3 Materiais e Métodos

Para explorarmos os padrões de uso e cobertura da terra e seus efeitos na temperatura de superfície na área em estudo, conduzimos três fases de análise. A primeira consiste do mapeamento do uso e cobertura da terra da região a partir de imagens multiespectrais da série de satélites Landsat. A segunda refere-se à extração da temperatura de superfície a partir das imagens termais registradas por esses satélites. A terceira fase representa as análises estatísticas adotadas para investigar o efeito do uso e cobertura da terra na temperatura de superfície. Todas as etapas que constituem essas fases estão ilustradas na Figura 3 de maneira mais detalhada. Nas próximas seções são apresentados os detalhes sobre as etapas e os dados utilizados em cada fase em específico.

Figura 3 – Fluxograma das etapas de cada fase de análise do estudo.



Fonte: Autora (2019).

2.3.1 Dados utilizados

Utilizamos as imagens dos satélites Landsat 5, sensor *Thematic Mapper* (TM) para os anos de 1987 e 2000, e Landsat 8, sensores OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) no ano de 2017. Todas essas imagens foram solicitadas ao ESPA (*Center Science Processing Architecture*) da USGS

(*United States Geological Survey*), na página *on-line* <https://espa.cr.usgs.gov/> pela opção *on-demand*. Para trabalharmos nos períodos de interesse (julho de 1987, 2000 e 2017), recobrando toda a área de estudo, foram necessárias quatro cenas para cada ano, sendo elas: 222-075, 222-076, 223-076 e 223-076. As datas dessas imagens pertencem ao período de inverno, pois corresponde a estação com menor probabilidade de nuvens. Não utilizamos a imagem de 2002, pois houve incidência de nuvens no período de interesse (mês de julho).

As imagens de satélite (ex.: Landsat) estão sujeitas às distorções radiométricas e geométricas, devido aos efeitos atmosféricos, à variação da altitude do relevo, à velocidade da plataforma, dentre outros (JENSEN, 2009). Sendo assim, é fundamental o pré-processamento dessas imagens para a correção destes efeitos. Contudo, a USGS disponibiliza os produtos Landsat em refletância de superfície (YOUNG *et al.*, 2017), ou seja, as imagens são convertidas de números digitais para refletância ao topo da atmosfera e, em seguida, usando parâmetros atmosféricos e um modelo digital de elevação, esses dados corrigidos para refletância de superfície. Relatórios de qualidade sobre esses e outros produtos disponíveis são encontrados na página da USGS e podem ser acessados livremente por usuários (YOUNG *et al.*, 2017).

2.3.2 Classificação do Uso e Cobertura da Terra e avaliação da acurácia

Para examinarmos as alterações no uso e na cobertura da terra nos anos de 1987, 2000 e 2017, aplicamos nas imagens a classificação supervisionada pixel-a-pixel de Máxima Verossimilhança usando o software *open-source* SPRING 5.5.2. Definimos o ano de 1987 como ponto inicial da análise por representar uma janela temporal de 30 anos até 2017 e as imagens Landsat correspondentes a essa data na área em estudo estarem isentas de nuvens.

Treinamos o classificador de Máxima Verossimilhança utilizando amostras representativas de cada uma das cinco classes, identificadas para a área em estudo: corpo d'água, vegetação arbórea, cultura, pastagem e solo exposto. A classificação por Máxima Verossimilhança assume que, para cada classe e banda espectral, ocorre uma distribuição normal dos valores de pixel das amostras coletadas pelo analista, de modo que é calculada a probabilidade de o pixel pertencer ou não a uma determinada classe (RICHARDS; JIA, 2006).

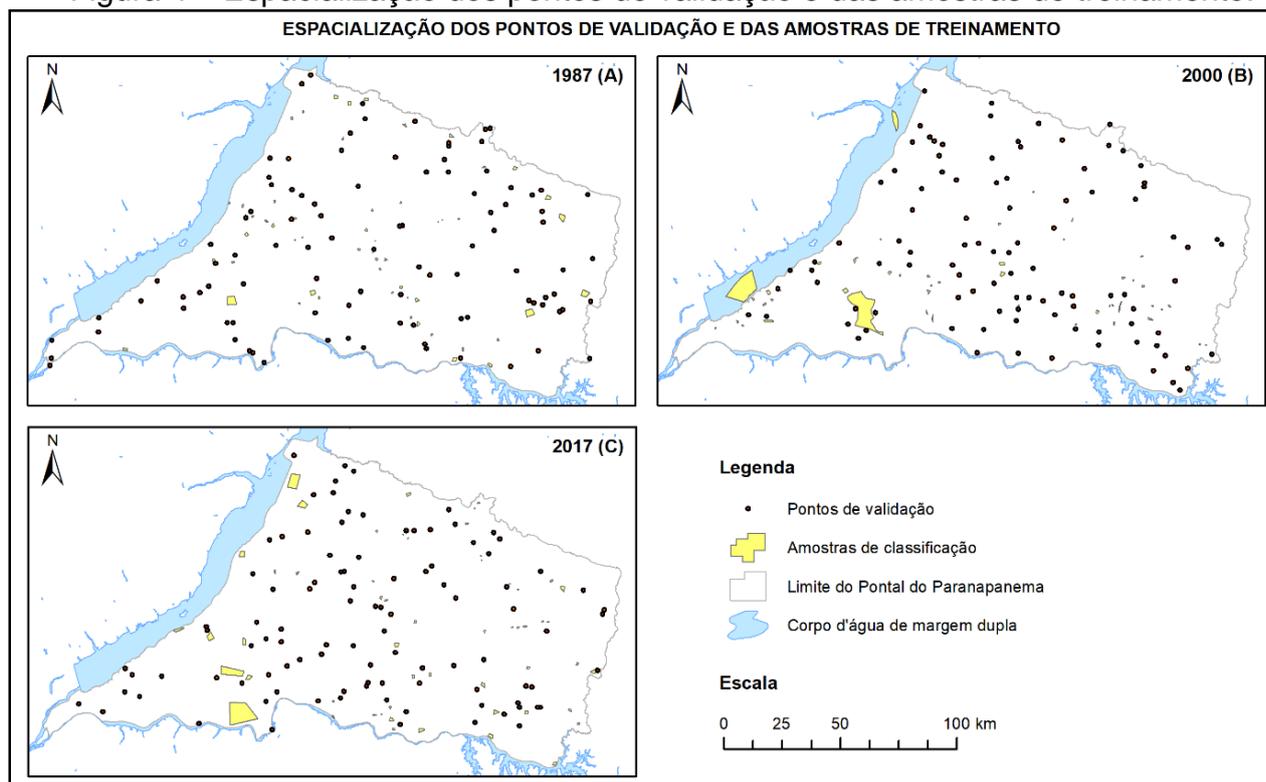
Para se obter uma classificação eficaz por Máxima Verossimilhança é necessário um número razoável de pixels (mínimo 20) por amostra de treinamento, uma vez que esse número permite o tratamento estatístico (CRÓSTA, 2002). Sendo assim, adotamos amostras com área mínima de 20 pixels e o mínimo de cinco amostras por classe, e interpretamos as imagens a partir das bandas (5, 4, 3) do sensor TM e (6, 5, 4) do sensor OLI.

Para validar a acurácia da classificação, utilizamos 20 pontos para cada classe de uso e cobertura distribuídos aleatoriamente sobre a área em estudo, resultando em 100 pontos de referência para cada ano de análise. Para 1987 e 2000, utilizamos as imagens *Google Earth Pro* para a confirmação visual do uso e cobertura da terra nesses pontos de validação. Para o ano de 2017, utilizamos as imagens *Planet Scope*, com aproximadamente 3 m de resolução espacial, para a confirmação visual do uso e cobertura da terra nesses pontos de validação.

Realizamos a espacialização das amostras de treinamentos coletadas para as cinco classes e os pontos de validação distribuídos aleatoriamente (Figura 4). Os pontos de validação não pertencem a nenhum dos polígonos/amostras de treinamento.

O coeficiente Kappa e a acurácia global foram determinados para cada ano de análise a partir da construção da matriz de confusão (ou matriz de erro). A matriz de confusão representa a qualidade obtida na classificação digital da imagem, sendo expressa a relação entre os dados de referência (assumidos como verdadeiros) e os dados classificados pelo algoritmo (JENSEN, 2009). O coeficiente Kappa e a acurácia global são índices que representam o grau de precisão (confiabilidade) dos dados classificados, de modo que, quanto mais próximos de 1 e 100%, respectivamente, mais concordância os dados classificados têm com os dados de referência (LANDIS; KOCH, 1977).

Figura 4 – Espacialização dos pontos de validação e das amostras de treinamento.



Fonte: Autora (2019).

Para detectar a mudança no uso e cobertura da terra no período de 30 anos, quantificamos as áreas de cada classe. Em seguida, decompomos as informações em taxas (%) e áreas (km²), para determinar as transformações obtidas na região entre os anos analisados. Assim, identificamos a localização e a distribuição espacial das mudanças entre os diferentes períodos de análise (julho de 1987, 2000 e 2017).

2.3.3 Extração da Temperatura de Superfície

Para investigarmos se houve alteração da LST nos anos de 1987, 2000 e 2017, utilizamos os dados termais registrados pela banda 6 do sensor TM Landsat 5, para os anos de 1987 e 2000, e a banda 10 do Landsat 8 sensor TIRS, para o ano de 2017. Esse processo foi realizado no QGIS (*Quantum Geographical Information System*), um *software open-source* que permite a inserção de *plug-ins* com diferentes ferramentas de análise. O *plug-in* empregado foi o *Land Surface Temperature (LST)* que extrai a Temperatura da Superfície Terrestre (*Land Surface Temperature - LST*) de imagens orbitais termais.

A extração da temperatura de superfície das imagens Landsat deve ser realizada seguindo certas etapas, como: a conversão dos valores de Número Digital (ND) para radiância ao topo da atmosfera; a conversão da radiância para temperatura de brilho ao topo da atmosfera; a correção da temperatura de brilho do efeito da atmosfera, obtendo a temperatura de superfície e; a conversão da temperatura de superfície terrestre (LST) em Kelvin para graus Celsius (CONGEDO, 2016).

Os sinais recebidos pelos sensores térmicos podem ser convertidos em radiância ao sensor, sendo o fluxo de energia que parte de uma superfície para uma determinada direção (JENSEN, 2009). Nas bandas dos sensores TM e OLI, a Radiância (L_λ) pode ser estimada pela equação (1) que converte o ND (sem unidade de medida) para a energia recebida ao topo da atmosfera e sua unidade é (Watts/($m^2 * srad * \mu m$)) (USGS, 2016).

$$L_\lambda = (M_L * Q_{cal}) + A_L - O_i \quad (1)$$

Nessa equação (1), Q_{cal} corresponde a imagem em ND, M_L (ganho) é o fator de redimensionamento multiplicativo específico para cada banda e A_L (offset) é um fator de redimensionamento aditivo, também específico para cada banda, fornecidos no metadados da imagem. Para o caso dos satélites Landsat, o valor de O_i representa uma correção apenas na banda 10, equivalente à $-0,29$, conforme a recomendação da USGS (2016). As bandas termais 10 e 11 recebem interferência de luz dispersa de áreas adjacentes a cena imageada e, por essa razão, exigem o ajuste através da inserção do valor de O_i . A USGS (2016) recomenda o uso da banda 10 durante a estimativa de temperatura, uma vez que o problema de luz dispersa ocorre com maior intensidade na banda 11.

Com a banda termal em radiância, adotamos a equação (2) para convertê-la em temperatura de brilho ao topo da atmosfera (ToA), correspondendo a temperatura de superfície que chega ao sensor com interferência atmosférica (USGS, 2016).

$$T_B = K_2 / \left[\ln \left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1 \right) \right] \quad (2)$$

Na equação (2), os parâmetros K_2 e K_1 são as constantes de conversão para cada banda termal específica, encontrados no metadados da imagem (USGS, 2016). O valor L_λ é a radiância espectral obtida na equação (1), e T_B é a temperatura de brilho ao topo da atmosfera, dada em kelvin.

Para corrigir a temperatura de superfície dos efeitos da atmosfera, aplicamos os valores de emissividade da superfície terrestre (ε), conforme recomenda Sobrino, Jiménez-Muñoz e Paolini (2004). Uma abordagem simplificada para se obter a emissividade da superfície terrestre é a partir dos valores de NDVI das imagens (SOBRINO; JIMÉNEZ-MUÑOZ; PAOLINI, 2004). Para se obter os valores de emissividade a partir do NDVI, consideram-se os seguintes casos (SOBRINO; JIMÉNEZ-MUÑOZ; PAOLINI, 2004): NDVI abaixo de 0,2, o pixel é classificado como solo exposto e a emissividade é obtida a partir de valores de refletividade na região do vermelho; NDVI maior que 0,5 os pixels são classificados como áreas totalmente vegetadas e se assume um valor constante para a emissividade, normalmente de 0,99 e; NDVI variando de 0,2 até 0,5, o pixel é considerado composto por uma mistura de solo exposto e vegetação, sendo assim, a emissividade é calculada de acordo com a equação (3).

$$\varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s (1 - P_v) + d_\varepsilon \quad (3)$$

Onde ε_v é a emissividade da vegetação, ε_s é a emissividade do solo, e P_v é a proporção da vegetação estimada como mostra a equação (4) proposta por Carlson e Ripley (1997).

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (4)$$

Nessa equação (4): o $NDVI_{max}$ equivale a 0,5 e; $NDVI_{min}$ equivale a 0,2, pois referem-se à superfície com mistura de solo exposto e vegetação (SOBRINO *et al.* 2004).

Para o cálculo do termo d_ε da equação (3), que representa o efeito das reflexões internas e a distribuição geométrica das superfícies naturais, assume-se que, em superfícies lisas, esse termo é desconsiderado. Em superfícies heterogêneas e ásperas, como áreas de vegetação, esse termo pode chegar a um

valor de 2%, e seu valor é estimado pela equação (5) (SOBRINO; JIMÉNEZ-MUÑOZ; PAOLINI, 2004).

$$d\varepsilon = (1 - \varepsilon_s)(1 - P_v)F\varepsilon_v \quad (5)$$

Onde F é um fator de forma, cujo valor médio, assumindo distribuições geométricas diferentes, é de 0,55 (SOBRINO; JIMÉNEZ-MUÑOZ; PAOLINI, 2004).

Por fim, para o cálculo da emissividade, aplicamos a equação (6), proposta por Sobrino, Jiménez-Muñoz e Paolini (2004).

$$\varepsilon = (m * P_v) + n \quad (6)$$

Sendo que para calcular os valores de m e n dessa equação (6), podemos considerar as seguintes equações (6a) e (6b) (SOBRINO; JIMÉNEZ-MUÑOZ; PAOLINI, 2004).

$$m = \varepsilon_v - \varepsilon_s - (1 - \varepsilon_s)F\varepsilon_v \quad (6a)$$

$$n = \varepsilon_s + (1 - \varepsilon_s)F\varepsilon_v \quad (6b)$$

Nessas equações (6a e 6b), embasando-nos em Sobrino, Jiménez-Muñoz e Paolini (2004), consideramos o valor de m equivalente à 0,004, e de n um valor de 0,986.

Na sequência, a LST, em kelvin, após corrigida do efeito da atmosfera usando a emissividade da superfície terrestre, pode ser extraída utilizando a equação (7) de Artis e Carnahan (1982):

$$T = T_B / [1 + \{\frac{\lambda * T_B}{\alpha}\} * Ln\varepsilon] \quad (7)$$

Na equação (7): λ é o comprimento de onda central da radiação emitida, sendo que foi utilizado o valor de 11,5 μm para banda 6 do Landsat 5 e o valor de 10,8 μm para banda 10 do Landsat 8 e; a constante α equivale ao valor $1,438 * 10^{-2} \text{mK}$ (ARTIS; CARNAHAN, 1982). O valor α é calculado conforme mostra a equação (8).

$$\alpha = h * C / \sigma \quad (8)$$

Onde h é determinado pela constante de Planck ($6,626 \cdot 10^{-34}$ Js); C corresponde à velocidade da luz ($2,998 \cdot 10^8$ m/s) e; σ é a constante de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K) (WENG; LU; SCHUBRING, 2004). O resultado obtido na equação (7) é dado em Kelvin (K). Assim, é necessária a subtração do valor 273,15 para a conversão da temperatura em graus Celsius ($^{\circ}$ C).

Para a validação dos valores de temperatura de superfície extraídos das imagens Landsat, comparamos a média da LST com os valores médios de temperatura atmosférica registradas para a área de estudo no mês da aquisição das imagens (mês de julho). Esses dados foram fornecidos pela Estação Meteorológica da Universidade Estadual Paulista de Presidente Prudente – SP, a qual representa a única estação localizada dentro da área de estudo.

2.3.4 Análises estatísticas

Aplicamos análises de estatísticas descritivas e de hipótese para investigarmos a mudança no uso e cobertura da terra e na LST, bem como a relação entre essas variáveis ao longo de 30 anos. Na análise de comparação (de hipótese), extraímos a LST para cada classe de uso e cobertura, considerando os anos de interesse (1987, 2000 e 2017). Definimos o uso da estatística paramétrica ou não-paramétrica pelos resultados do teste de *Shapiro-Wilk* que verifica a distribuição de probabilidade normal dos conjuntos de dados de uso e cobertura da terra e de LST. A Análise de Variância (ANOVA), e o teste *Tukey*, foi usada na comparação pareada entre mais de duas variáveis. Adotamos o nível de significância de 5% nas análises.

2.4 Resultados e Discussão

2.4.1 Avaliação da Mudança de Uso e Cobertura da Terra de 1987 a 2017

Antes de caracterizarmos as mudanças nos padrões de uso da terra de 1987 até 2017, realizamos a validação do mapa gerado pela classificação das imagens Landsat, considerando cada ano de análise. Para isto, construímos a matriz

de confusão e calculamos os valores de acurácia global e do índice Kappa (Tabela 1).

Tabela 1 - Matriz de confusão e erros de omissão e inclusão da classificação para os anos de 1987, 2000 e 2017.

Classificação da verdade terrestre (1987)	Água	Vegetação	Cultura	Pastagem	Solo Exposto	Total	Erro de comissão (%)	Acurácia Usuário
Água	3	0	0	0	0	3	0	100
Vegetação	0	10	2	0	0	12	16,67	83,33
Cultura	0	3	13	3	1	20	15,00	85,00
Pastagem	0	1	3	54	1	59	6,78	93,22
Solo Exposto	0	0	1	0	5	6	16,67	83,33
Total	3	14	19	57	7	100		
Erro de omissão (%)	0	28,57	21,05	5,26	14,29			
Acurácia Classificador	100	71,43	78,95	94,74	85,71			
Acurácia Global						85%		
Índice Kappa						0,75		
Classificação da verdade terrestre (2000)	Água	Vegetação	Cultura	Pastagem	Solo Exposto	Total	Erro de comissão (%)	Acurácia Usuário
Água	2	0	0	0	0	2	0	100
Vegetação	0	5	1	0	0	6	16,67	83,33
Cultura	0	2	11	1	0	14	14,29	85,71
Pastagem	0	1	4	61	5	71	12,68	87,32
Solo Exposto	0	0	0	0	5	5	0	100,00
Total	2	8	16	62	10	98		
Erro de omissão (%)	0	37,50	25,00	1,61	50,00			
Acurácia Classificador	100	62,50	75,00	98,39	50,00			
Acurácia Global						86%		
Índice Kappa						0,72		
Classificação da verdade terrestre (2017)	Água	Vegetação	Cultura	Pastagem	Solo Exposto	Total	Erro de comissão (%)	Acurácia Usuário
Água	2	0	0	0	0	2	0	100
Vegetação	0	18	0	0	0	18	0	100
Cultura	0	5	27	0	0	32	15,63	84,38
Pastagem	0	0	5	29	3	37	21,62	78,38
Solo Exposto	0	0	0	0	11	11	0,00	100,00
Total	2	23	32	29	14	100		
Erro de omissão (%)	0	21,74	15,63	0,00	21,43			
Acurácia Classificador	100	78,26	84,38	100,00	78,57			
Acurácia Global						87%		
Índice Kappa						0,82		

Fonte: Autora (2019).

Para os anos de 1987, 2000 e 2017, a acurácia global da classificação foi de 85%, 86% e 87%, respectivamente, e o índice Kappa foi de respectivamente 0,75, 0,72 e 0,82. Assim, interpretamos que, para os três anos de análise, obtivemos uma classificação de acurácia “muito boa”, conforme os valores definidos por Landis & Koch (1977). Elaboramos o mapa de uso e cobertura da terra para os anos de 1987, 2000 e 2017 para área de estudo (Figura 5).

Ao quantificarmos as áreas (em km² e em porcentagem) em função do tipo de uso e cobertura (Tabela 2), identificamos que a classe pastagem ocupou mais de 60% da área em estudo no ano de 1987, mais de 67% em 2000 e 48,2% em 2017. Notamos um predomínio dessa classe nos três períodos de análises. As áreas de cultura foram a segunda maior em extensão territorial nos três anos de análise, havendo um aumento dessas áreas em cerca de 16,6% de 2000 para 2017 (Tabela 2). Exceto para a pastagem, todas as demais áreas de uso e cobertura da terra aumentaram nos últimos 30 anos (Tabela 2).

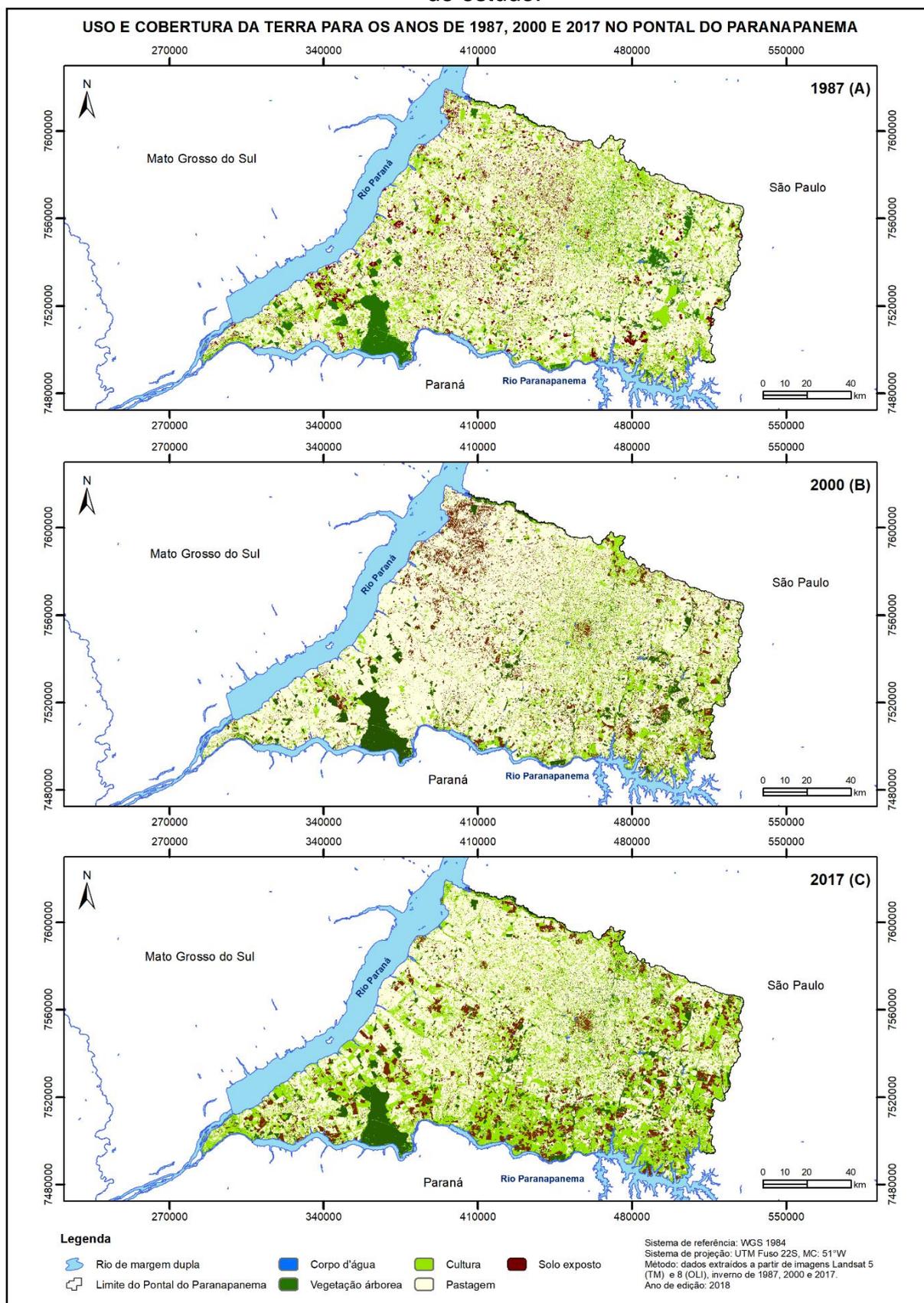
Tabela 2 – Uso e cobertura da terra em 1987, 2000 e 2017 na área em estudo.

Tipo de uso e cobertura	1987		2000		2017	
	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)
Corpo d'água	381,8	2,1	509,5	2,8	654,4	3,6
Cultura	3850,9	20,9	2534,0	13,8	5582,2	30,4
Solo exposto	1340,6	7,3	1523,7	8,3	1741,7	9,5
Vegetação arbórea	1333,5	7,3	1459,4	7,9	1511,8	8,2
Pastagem	11474,8	62,4	12349,8	67,2	8895,9	48,4

Fonte: Autora (2019).

Embora tenhamos verificado uma distribuição homogênea das classes temáticas na área em estudo no decorrer dos anos analisados (Figuras 5A, 5B e 5C), podemos notar uma maior concentração das áreas de cultura na porção sul e à leste da área para o ano de 2017 (Figura 5C). Fato que se deve à expansão da monocultura de cana-de-açúcar na região com a implantação de usinas canavieiras em vários municípios (THOMAZ JR., 2009), intensificando o cultivo. Adicionalmente, pelo calendário agrícola da cana-de-açúcar, o mês de julho (data das imagens) corresponde ao período de estágio de maturidade da planta, isto é, período de colheita da safra (EMBRAPA, 2001).

Figura 5 – Uso e cobertura da terra para os anos de 1987, 2000 e 2017 para área de estudo.



Fonte: Autora (2019).

Para caracterizarmos a transição entre os tipos de uso da terra na região em estudo nos últimos 30 anos, criamos uma matriz de mudança de uso e cobertura da terra e calculamos as taxas de transformação, conforme Weng (2001). Identificamos as áreas que passaram a ser uma determinada classe de uso, áreas que deixaram de ser uma determinada classe, e as taxas de transformações, incluindo a de crescimento e a de decréscimo, e a taxa anual de transformações (a.a.) (Tabela 3).

Tabela 3 – Matriz de mudança das classes de uso e cobertura da terra entre 1987 e 2000, e entre 2000 e 2017, e as taxas de transformações associadas.

Matriz de mudança do uso e cobertura da terra entre 1987 e 2000 e taxas de transformações										
Área	Solo exposto		Corpo d'água		Cultura		Pastagem		Vegetação	
Passou a ser (km ²)	183,2	-	127,6	-	-	-	874,9	-	125,9	-
Deixou de ser (km ²)	-	-	-	-	1316,8	-	-	-	-	-
Taxa de transformação (%)	14,0%	-	0,003%	-	34,0%	-	7,60%	-	9,0%	-
Taxa de crescimento (%)	14,0%	1,1%(a.a.)	0,003%	0,0003%(a.a.)	-	-	7,60%	0,6%(a.a.)	9,0%	1,0%(a.a.)
Taxa de decréscimo (%)	-	-	-	-	34,0%	3,0%(a.a.)	-	-	-	-

Matriz de mudança do uso e cobertura da terra entre 2000 e 2017 e taxas de transformações										
Área	Solo exposto		Corpo d'água		Cultura		Pastagem		Vegetação	
Passou a ser (km ²)	217,9	-	144,95	-	3048,2	-	-	-	52,4	-
Deixou de ser (km ²)	-	-	-	-	-	-	3453,9	-	-	-
Taxa de transformação (%)	14,30%	-	28,50%	-	120,30%	-	28,00%	-	3,60%	-
Taxa de crescimento (%)	14,30%	0,8%(a.a.)	28,50%	1,7%(a.a.)	120,30%	7,1%(a.a.)	-	-	3,60%	0,21%(a.a.)
Taxa de decréscimo (%)	-	-	-	-	-	-	28,00%	1,6%(a.a.)	-	-

Fonte: Autora (2019).

Entre o período de 1987 a 2000, identificamos que as classes de solo exposto, corpo d'água, pastagem e vegetação arbórea apresentaram taxas de crescimento. As áreas de cultura, porém, apresentaram uma taxa de decréscimo de 34%, sendo o decréscimo anual de 3% (Tabela 3). No decorrer dos 17 anos seguintes (de 2000 até 2017), verificamos que as áreas de pastagem apresentaram a maior taxa de decréscimo, correspondendo a 28% no período e cerca de 1,6% ao ano (Tabela 3). Sendo assim, é evidente que em todas as classes de uso e cobertura da terra ocorreu algum tipo de mudança ao longo dos 30 anos.

Para as áreas classificadas como vegetação arbórea, observamos que, de 1987 a 2000, houve um aumento de área de 125,9 km², o que representa uma taxa de crescimento de 9% no período (ou 1% a.a.). Porém, essa taxa é reduzida para 3,6% no segundo período de análise (2000 a 2017), equivalendo a somente

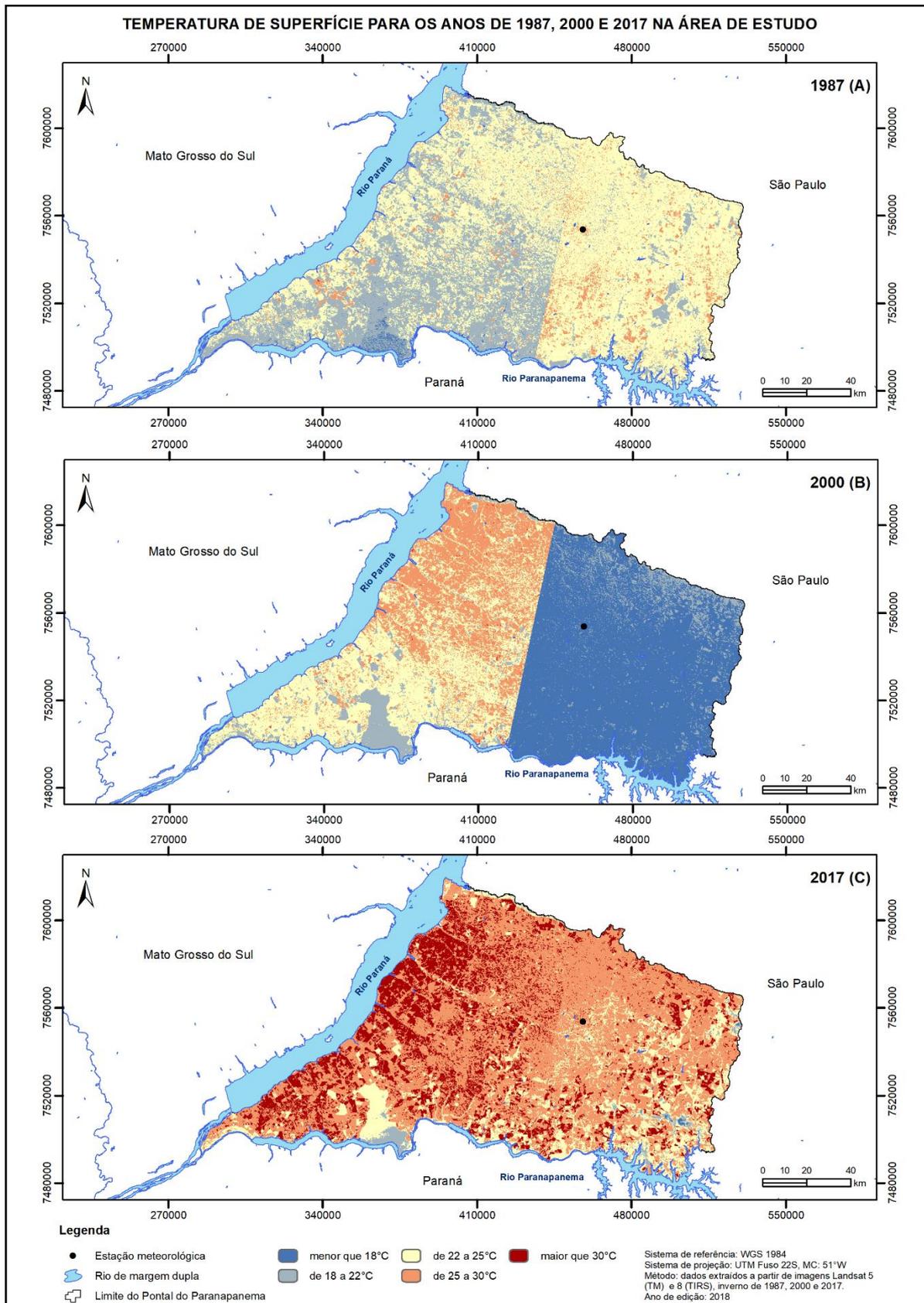
52,2 km² de áreas que passaram a serem cobertas por vegetação arbórea. A região em estudo possui fragmentos de vegetação, que são remanescentes do bioma Mata Atlântica, de áreas expressivas (simbolizados no matiz verde - Figura 5), e nota-se que esses fragmentos foram preservados nos últimos 30 anos.

2.4.2 Avaliação da Mudança na Temperatura de Superfície de 1987 a 2017

Representamos o padrão de distribuição da temperatura de superfície no mês de julho de 1987 (Figura 6A), 2000 (Figura 6B) e 2017 (Figura 6C). Em 1987, identificamos que a área de estudo apresentou temperaturas entre 18° C e 25 °C. Porém, em julho de 2000 (Figura 6B), observamos uma clara divisão de temperatura no sentido Leste – Oeste da área. Da porção central da área para Leste, a temperatura de superfície foi menor que 18°C predominantemente, mas da porção central para Oeste da mesma, a temperatura oscilou entre 22°C e 30°C.

Esse resultado é explicado pela diferença radiométrica constatada entre as bandas termais do satélite Landsat 5 para as datas que compõe o mosaico de imagens de julho de 2000. Ainda que as imagens correspondam à refletância de superfície, a área em estudo é recoberta por quatro cenas, sendo duas de cada órbita (222 e 223). Essa diferença de órbita implica que as cenas foram coletadas em datas diferentes, e que as condições atmosféricas podem ter sido distintas nessas datas. Ao serem adquiridas em condições atmosféricas diversas, as imagens podem apresentar diferença radiométrica acentuada, o que resulta na discrepância visual entre as cenas como notamos nas Figuras 6A e 6B.

Figura 6 – Temperatura de superfície para os anos de 1987, 2000 e 2017 na área de estudo.



Fonte: Autora (2019).

Realizamos a análise de estatística descritiva da temperatura de superfície e da temperatura atmosférica para os anos de interesse no mês de julho (Tabela 4). Nesse mês, em 1987, a discrepância da média da temperatura de superfície e atmosférica foi de 0,4°C, e a precipitação nesse período foi de 60mm (Figura 2). Para o ano de 2000, a LST média em julho foi 20,4°C e a temperatura atmosférica média de 17,7°C, o que corresponde a uma discrepância abaixo de 3°C. A precipitação registrada foi de 63 mm (Figura 2). Em 2017, não houve registro de precipitação no mês de julho (Figura 2), e a discrepância da média da temperatura de superfície e a atmosférica foi 8°C aproximadamente. Nesse período, a LST média atingiu 27,6°C, e a atmosférica foi de 20°C. A alta na temperatura de superfície pode ser atribuída a falta de chuva neste período (TRENBERTH, 2005).

Tabela 4 – Temperatura de superfície e temperatura atmosférica em julho de 1987, 2000 e 2017 na área em estudo.

Estatística descritiva	1987		2000		2017	
	LST	Temp. Atm.	LST	Temp. Atm.	LST	Temp. Atm.
Mínima (°C)	16,5	13,5	4,1	9,5	4,4	6,7
Máxima (°C)	31,7	25,4	33,5	25	41,2	29,2
Amplitude (°C)	15,2	11,9	29,4	15,5	36,8	22,5
Média (°C)	22,6	22,2	20,4	17,7	27,6	20
Desvio Padrão (°C)	1,8	-	4,4	-	3,1	-
Coeficiente de Variação (%)	7,8	-	21,8	-	11,1	-

Fonte: Autora (2019).

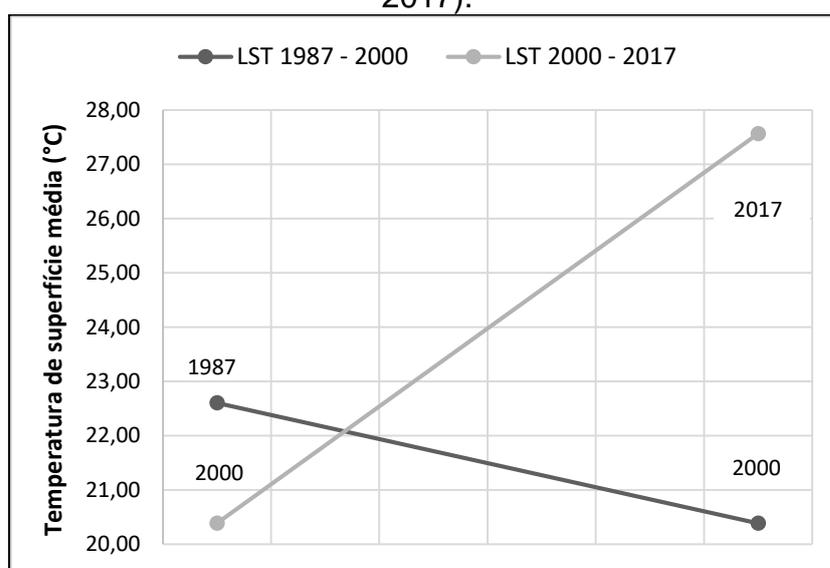
Segundo Kawashima *et al.* (2000), a temperatura de superfície explica cerca de 80% da temperatura atmosférica. Nosso estudo de caso demonstra essa relação entre os valores da LST e a temperatura atmosférica (Tabela 4), ainda que haja apenas um ponto (estação meteorológica) com temperatura atmosférica conhecida na área em estudo (Figura 6). Isso é um indicativo de que os valores de LST extraídos das imagens Landsat são representativos para a área em estudo.

No período entre 1987 e 2000, a média da temperatura de superfície apresentou uma queda de 2,2°C na área em estudo. Porém, do ano de 2000 até 2017, essa temperatura foi elevada em 2,3°C. Representamos (Figura 7) essas variações da temperatura de superfície entre os períodos de análise (1987-2000 e 2000-2017). Ao analisarmos o período como um todo (1987 até 2017), podemos afirmar que a temperatura de superfície aumentou 5°C em média na área em estudo.

Firpo, Sansigolo e Assis (2012) relatam que em meados de julho do ano de 2000 houve uma forte frente fria na região do Pontal do Paranapanema, resultando em baixas temperaturas. Esses autores relatam ainda que ocorreu a *La*

Niña no começou de julho de 2000 e seu término foi apenas em fevereiro do ano seguinte. Tais fatores meteorológicos podem explicar a queda na temperatura de superfície e atmosférica em julho do ano de 2000, mais em específico às cenas 222-075 e 222-076, quando comparado as outras datas analisadas (1987 e 2017) (Tabela 4).

Figura 7 – Relação da LST média entre os períodos de análise (1987-2000 e 2000-2017).



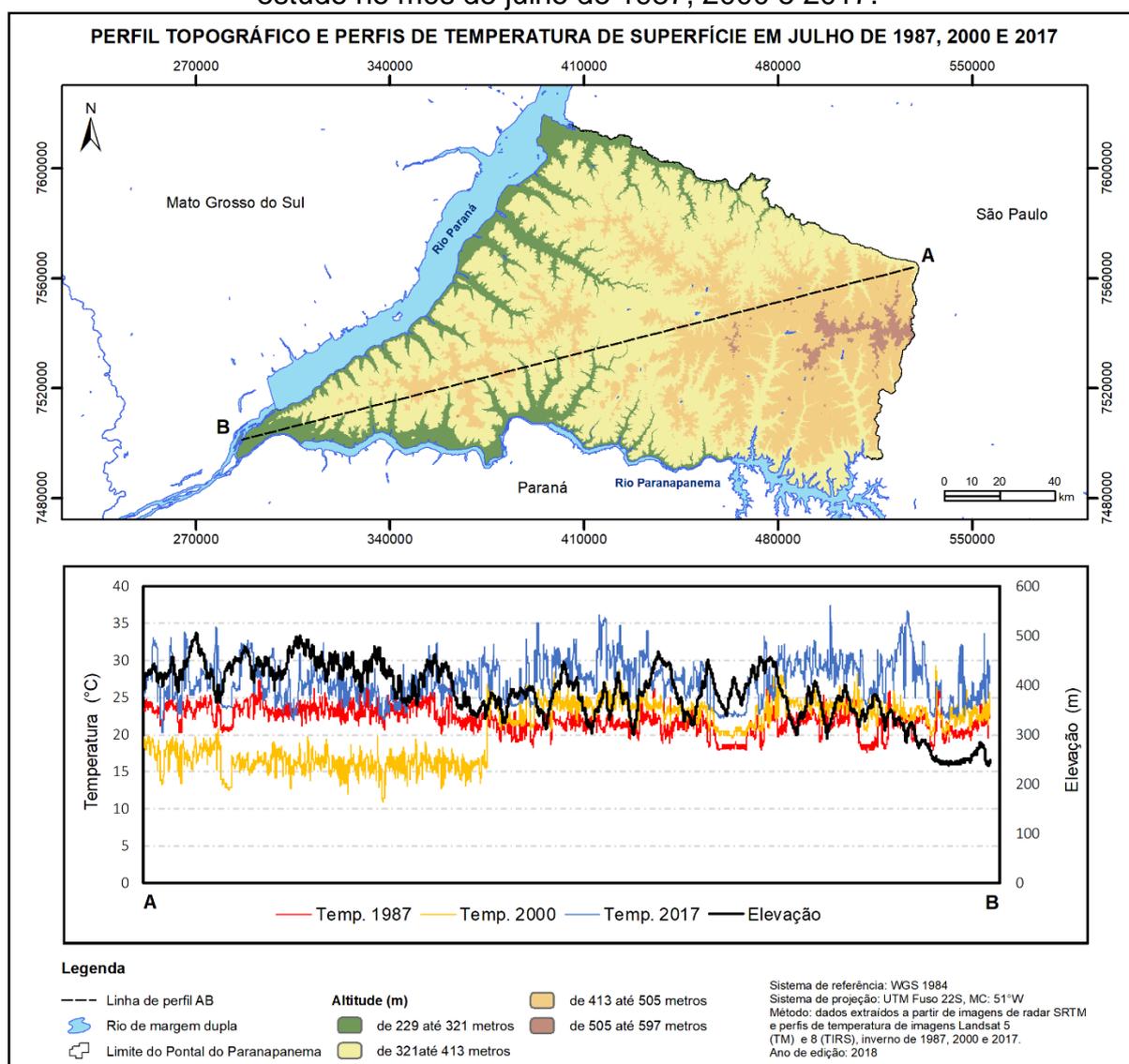
Fonte: Autora (2019).

Com a finalidade de identificarmos uma associação entre as variações de temperatura de superfície e a altitude do terreno, construímos perfis topográficos e de temperatura de superfície para cada período de análise da área em estudo (Figura 8). No perfil AB, o ponto A corresponde à região mais alta da área, e o ponto B a região mais baixa. A altitude da área em estudo varia entre 200m e 500m.

Observamos que em áreas mais elevadas (acima de 300m), a temperatura de superfície se manteve acima dos 20°C em 2017 e que esse resultado se repetiu em 1987 ao desconsiderar as áreas localizadas nas proximidades do ponto B (Figura 8). Porém, o perfil da temperatura de superfície para o ano de 2000 foi uma exceção. Verificamos que, para uma parte da área em estudo (da porção central em direção à leste da área) a LST não ultrapassou os 20°C, ainda que as altitudes variassem acima de 300 m. Na outra região da área (da porção central em direção ao oeste), os valores de LST foram similares ao observado para os anos de 1987 e 2000. Essa discrepância do perfil de temperatura de superfície do ano de 2000 para os demais anos (1987 e 2017) pode ser entendida ao se analisar o mapa

de temperatura de superfície do ano de 2000 (Figura 6B), pelo qual se constata uma clara divisão da área em estudo em duas faixas de LST. O ano de 2000 foi um ano atípico em termos de temperatura atmosférica e de superfície, sendo essas mais baixas se comparadas ao mês de julho de 1987 e 2017 (Tabela 4). Portanto, pela análise visual do perfil AB (Figura 8), não é evidente uma forte associação entre a temperatura de superfície e a topografia do terreno.

Figura 8 – Perfis topográficos e de temperatura de superfície média para a área em estudo no mês de julho de 1987, 2000 e 2017.



Fonte: Autora (2019).

2.4.3 Associação entre a temperatura de superfície e o uso e cobertura da terra

Para investigarmos se o tipo de uso e cobertura da terra influencia na temperatura de superfície, analisamos a média da LST em função de cada classe de uso e cobertura (corpo d'água, cultura, pastagem solo exposto e vegetação) para os períodos de interesse na área em estudo (Tabela 5). A ANOVA e o teste *Tukey* demonstraram, a um nível de significância de 5, que há diferença (p -valor $< 0,0001$) nos valores da LST quando analisados em função tipo de uso e cobertura da terra.

Tabela 5 – Média da temperatura de superfície (em °C) para as classes de uso e cobertura da terra em julho de 1987, 2000 e 2017.

Ano (mês de julho)	Média da LST (° C) por classe de uso e cobertura				
	Corpo d'água	Cultura	Pastagem	Solo exposto	Vegetação arbórea
1987	19,9	21,7	23,0	24,9	20,2
2000	19,3	17,3	21,1	22,4	17,6
2017	21,3	26,0	28,8	31,6	23,8

Fonte: Autora (2019).

Em julho do ano de 1987, as áreas classificadas como corpo d'água e vegetação arbórea apresentaram as temperaturas mais baixas, equivalendo a 19,9°C e 20,2°C, respectivamente. Esses resultados corroboram os achados de Pal e Zial (2017), os quais constataram temperaturas mais baixas em regiões de mata ciliar, corpos d'água e aéreas cobertas por vegetação arbórea. A vegetação desempenha um papel importante na regulação da temperatura da superfície terrestre (BEZERRA; MORAES; SOARES, 2018; ESTOQUE; MURAYAMA; MYINT, 2016). Segundo Fathizad *et al* (2017), a presença de vegetação está associada ao conforto térmico e a manutenção do equilíbrio do ambiente. Nossos resultados corroboram estudos realizados em outras regiões, como por Pal e Zial (2017), Wang (2018) e Fathizad *et al.* (2017), que afirmam que há um impacto na LST decorrente da mudança no uso e cobertura da terra.

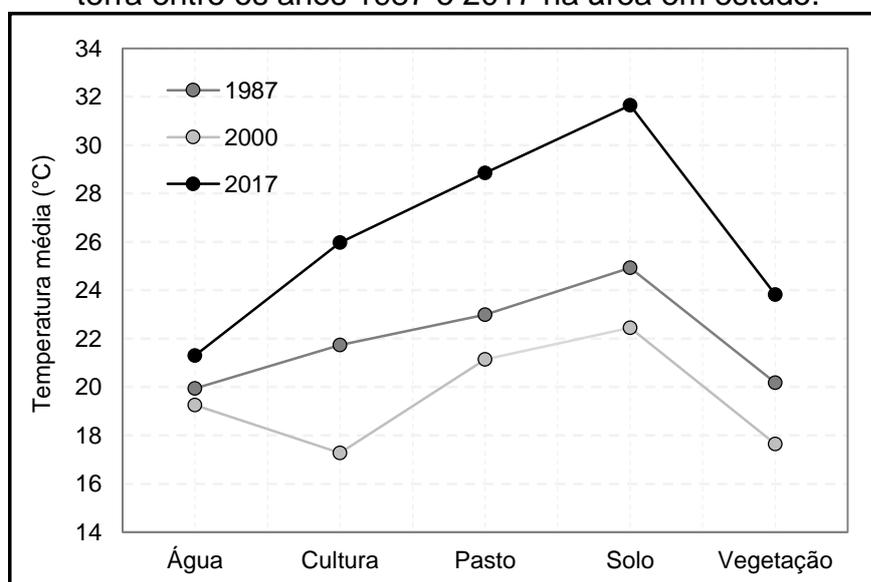
Constatamos (Tabela 5) que as áreas classificadas como solo exposto apresentaram a maior média de temperatura de superfície em todos os períodos de análise, como constatado nos estudos de Fathizad *et al* 2017. As características de reflectância espectral do solo são dependentes de vários fatores, como: textura; umidade e; quantidade de matéria orgânica (JENSEN, 2009). Em relação às classes (corpo d'água, vegetação e área construída), em geral, o solo exposto é a cobertura

que mais reflete o fluxo radiante incidente, o que implica em maiores valores de reflectância nas imagens (JENSEN, 2009).

Em julho do ano de 2000, observamos uma queda na temperatura de superfície em todas as classes de uso e cobertura da terra (Tabela 5), causada possivelmente pela frente fria nessa época na região, segundo Firpo *et al.* (2012). As áreas mais afetadas foram aquelas classificadas como cultura (temperatura média de 17,3°C) (Tabela 5). A presença de uma geada nos dias próximos à coleta da imagem Landsat 5, pode explicar essa baixa acentuada de temperatura de superfície, em específico nas cenas 222-075 e 222-076, correspondendo a área ao leste da região.

Em 2017 (mês de julho), verificamos uma elevação na temperatura de superfície para todos os tipos de uso da terra. Todas as classes apresentaram médias superiores à 21°C (Tabela 5). A falta de precipitação nesse período pode ser um fator que explique a elevação da LST. Sintetizamos a variação temporal da temperatura de superfície por tipo de uso e cobertura da terra nos últimos 30 anos (1987 a 2017) na área em estudo (Figura 9).

Figura 9 – Média da Temperatura de superfície para os tipos de uso e cobertura da terra entre os anos 1987 e 2017 na área em estudo.

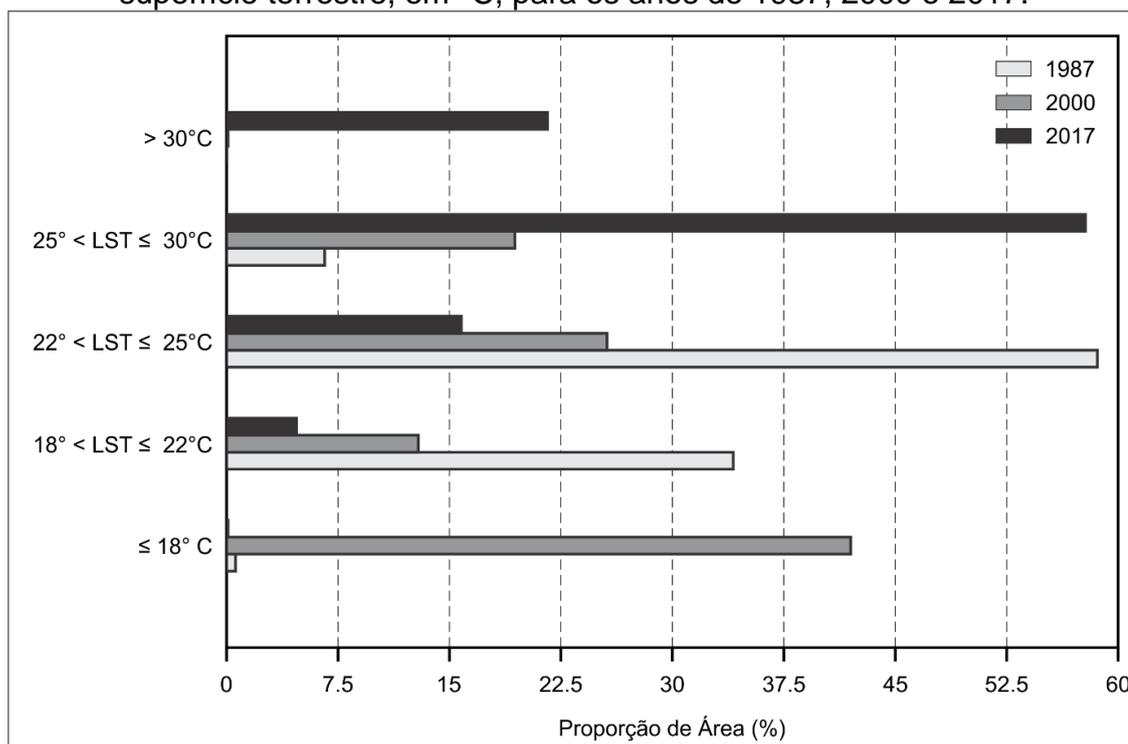


Fonte: Autora (2019).

Ademais, para cada período de análise, determinamos a proporção da área estudada que está concentrada em cada uma das faixas de LST definidas (Figura 10). As classes pastagem e solo exposto apresentam LST mais elevadas. No ano de 2017, 80% das suas temperaturas encontravam-se acima de 25°C, isso

confirma a elevação da temperatura de superfície nesse ano comparado aos outros anos de análise. As classes corpo d'água e vegetação arbórea apresentaram temperaturas mais baixas em todos os períodos, semelhante ao que foi constatado por Pal e Zial (2017) e Wang (2018).

Figura 10 – Proporção de área de estudo para cada das faixas de temperatura de superfície terrestre, em °C, para os anos de 1987, 2000 e 2017.



Fonte: Autora (2019).

Em relação à proporção total de área, no ano de 1987 (mês de julho), mais da metade (58%) da área de estudo apresentou a LST acima de 22°C até 25°C. Esse resultado é divergente para o ano de 2000 (mesmo mês), uma vez que a maior proporção de área (42%) apresentou LST de 18°C ou menos. Por observações em conjunto com a Figura 11, podemos afirmar que em julho de 2017, aproximadamente 60% da região obteve uma LST acima 25°C.

2.5 Conclusão

Concluimos que o tipo de uso e cobertura da terra afeta a temperatura de superfície. Nosso estudo de caso constatou variações na LST para cada tipo de

uso e cobertura, ao longo dos três períodos de análise. Concluímos que as áreas de solo exposto e pastagem contribuem para o aumento da temperatura de superfície, enquanto os corpos d'água e as áreas de vegetação arbórea atenuam a LST. Essas classes apresentaram as temperaturas mais baixas em todos anos investigados, o que demonstra a importância de preservar as condições naturais dessas classes.

Por meio deste estudo, a análise demonstrou que houve alteração no uso e cobertura da terra, da área de estudo, nos últimos 30 anos. A avaliação espaço-temporal da temperatura de superfície na área de estudo revelou um aumento da LST nos últimos 30 anos. Esse aumento foi equivalente a 5°C na média da LST de 2017 em relação a 1987. Contudo, houve uma redução da LST no ano de 2000 por fatores meteorológicos, como a *La Niña*.

Os resultados do nosso estudo comprovam a influência que a dinâmica de alteração do uso e da cobertura da terra produz na temperatura de superfície. O conhecimento desse impacto é fundamental para o desenvolvimento de atividades de planejamento ambiental e de ações de monitoramento da paisagem. Além disso, em um contexto regional, comprovamos o potencial das imagens multiespectrais de média resolução espacial em caracterizar as variações espaço-temporal dos tipos de uso e cobertura da terra e da temperatura de superfície.

Diante das constatações apresentadas, recomendamos que trabalhos futuros testem a influência da sazonalidade climática na caracterização da variação da temperatura de superfície. Também recomendamos que seja estudada a variação da temperatura das classes de uso da terra em função do período do dia, se diurno ou noturno, para outras estações do ano ou datas diferentes com finalidade de verificar outras particularidades. Esses achados poderão auxiliar em estudos envolvendo o diagnóstico ambiental e o monitoramento dos recursos naturais existentes.

Referências

ARTIS, D.A.; CARNAHAN, W.H., 1982. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. **Remote Sensing of Environment**, n. 12, 313–329, 1982.

BABALOLA, O.; AKIBSANOLA, A. Change Detection in Land Surface Temperature and Land Use Land Cover over Lagos Metropolis, Nigeria. **Journal of Remote Sensing & GIS**. n. 5, p. 1-7, 2016.

BEZERRA, P. E.; MORAES, E. T.; SOARES, I. R. Análise da Temperatura de Superfície e do Índice de Vegetação no Município de Belém na Identificação das Ilhas de Calor. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.70, n.3, 2018.

CARLSON, T. N.; RIPLEY, D. A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. **Remote Sensing of Environment**, v. 62, p. 241–252, 1997.

CONGEDO, L. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation, Release 4.8.0.1. Semi-Automatic Classification Plugin's (SCP) User Manual doc. for QuantumGIS**, 2016. Disponível em: <<https://media.readthedocs.org/pdf/semiautomaticclassificationmanual-v5/latest/semiautomaticclassificationmanual-v5.pdf>>. Acesso em: 10. out. 2018.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 4. ed. Campinas: IG/UNICAMP, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual do Sistema Balanço Hídrico e Calendário Agrícola**, 2001. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/territorial/busca-de-publicacoes/-/publicacao/16835/manual-do-sistema-balanco-hidrico-e-calendario-agricola>>. Acesso em: 11 nov. 18.

ESTOQUE, R.C., MURAYAMA, Y., MYINT, S.W. Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: an urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. **Science of Total Environment**, n. 577, 349–359, 2016.

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

FIRPO, M. A. F.; SANSIGOLO, C. A.; ASSIS, S. V. de. Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associadas ao ENOS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.1, p. 95-106, 2012.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE TERRAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (ITESP). **Plano de Recuperação Ambiental no Pontal do Paranapanema**. 2013. v. 2. Disponível em: <http://www.itesp.sp.gov.br/br/info/publicacoes/arquivos/pontal_verde_2e.pdf>. Acesso em: 20 set. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <<http://ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

KAWASHIMA, S. *et al.* Relations between surface temperature and air temperature on a local scale during winter nights. **J. Appl. Meteorol**, n. 39, p 1570–1779, 2000.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, p. 159-174, 1977.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Routledge, 1987.

PAL, S., ZIAUL, S. Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, n. 20. p.125–145, 2017.

RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote Sensing Digital Image Analysis**. 4. ed. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, p. 439, 2006.

SOBRINO, J.A., JIMÉNEZ-MUÑOZ, J.C., PAOLINI, L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. **Remote Sensing Environment**. n. 90, p. 434–440, 2004.

THOMAZ JÚNIOR, A. **Dinâmica Geográfica do Trabalho no Século XXI. (Limites Explicativos, Autocrítica e Desafios Teóricos)**. 2009. 941 f. (Tese de Livre docência) - Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, 2009.

TRENBERTH, K.E., SHEA, D.J. Relationships between precipitation and surface temperature. **Geophysical Research Letters**, v. 32, p.L14703(1-4), 2005.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP). ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE PRESIDENTE PRUDENTE. **Base de medições dos elementos meteorológicos: 1969/2017**. Presidente Prudente: Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, 2018.

UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat Surface Reflectance Level-2 Science Products**. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/landsat-surface-reflectance-data-products>>. Acesso em: 10 de Mar. 2018.

UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Using the USGS Landsat 8 Product**. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>>. Acesso em: 10 de Mar. 2018.

UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat 8 (L8) Data Users Handbook**. Department of the Interior U.S. Geological Survey. EROS Sioux Falls, South Dakota. 2016. p.9. (LSDS-1574. V. 2.0).

YOUNG, N.E. *et al.* A survival guide to Landsat preprocessing. **Ecology**, n. 98, p. 920-932, 2017.

WANG, Y. C. *et al.* Patterns of land change and their potential impacts on land surface temperature change in Yangon, Myanmar. **Science of the Total Environment**, v. 643, p. 738-750, 2018.

WANG, S. *et al.* Detection of urban expansion and land surface temperature change using multi-temporal landsat images. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 128, p. 526-534, 2016.

WENG, Q., 2001. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. **International Journal of Remote Sensing**, n. 22, p. 1999–2014, 2001.

WENG, Q., LU, D., SCHUBRING, J. Estimation of land surface temperature vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote Sensing of Environment**, n. 89, p. 467–48, 2004.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a realização da presente pesquisa de mestrado, envolvendo a relação espaço-temporal entre o uso e a cobertura da terra com a temperatura de superfície, preparamos trabalhos com temáticas correlatas a essa proposta, e então os publicamos em diferentes eventos científicos.

Uma publicação foi realizada nos anais do “*I International Symposium on Environment; II National Symposium on Environment; VI Symposium on Environment and Regional Development*”. O evento foi realizado na UNOESTE em 2018, e o artigo foi publicado sob o título de “Mapeamento da mudança do uso e cobertura da terra na região do Pontal do Paranapanema nos últimos 30 anos usando sensoriamento remoto e SIG”. Esse trabalho recebeu, como prêmio, o 2º lugar na categoria de artigo completo.

No ano de 2018, também, publicamos no XXIII Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão da Unoeste um trabalho denominado “Mapeamento da mudança da temperatura de superfície na região do Pontal do Paranapanema nos últimos 30 anos”. Esse trabalho recebeu o 1º lugar no 7º Prêmio Científico UNOESTE na área de Ciências Exatas e Engenharias, para a categoria de artigo completo ao nível de pós-graduação.

Cabe ressaltar que outro artigo, intitulado “Influência do uso e cobertura da terra na variação da temperatura de superfície em Bacia Hidrográfica” foi aprovado para publicação nos anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (XIX SBSR), que ocorrerá na cidade de Santos, São Paulo, em abril de 2019.

Realizamos as alterações neste manuscrito mediante as recomendações sugeridas pela banca examinadora, visando melhorar o nível científico do mesmo, e o submeteremos a uma revista científica de impacto na área de Ciências Ambientais.